Experimentelle Untersuchungen

über den

Augendruck

sowie über

qualitative und quantitative Beeinflussung des intraokularen Flüssigkeitswechsels.

Habilitationsschrift

verfasst und einer hohen med. Fakultät der Universität Würzburg

vorgelegt von

Dr. K. Wessely,

I. Assistenten der Universitäts-Augenklinik zu Würzburg.

Wiesbaden.

Verlag von J. F. Bergmann.

1908.

Experimentelle Untersuchungen

über den

Augendruck

sowie über

qualitative und quantitative Beeinflussung des intraokularen Flüssigkeitswechsels.

Habilitationsschrift

verfasst und einer hohen med. Fakultät der Universität Würzburg

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Dr. K. Wessely,

I. Assistenten der Universitäts-Augenklinik zu Würzburg.

Wiesbaden.

Verlag von J. F. Bergmann.

1908.

I.

Aus der Universitäts-Augenklinik zu Würzburg.

Experimentelle Untersuchungen über den Augendruck, sowie über qualitative und quantitative Beeinflussung des intraokularen Flüssigkeitswechsels.

Von **Dr. K. Wessely,**
1. Assistenten der Klinik.

Mit 27 Abbildungen im Text.

Inhalt.

Einleitung.
Methodisches zur Augendruckmessung.
Beschreibung des Registriermanometers.
Technische Einzelheiten bei Anstellung der Versuche.
Versuchsresultate.
I. Abhängigkeit des Augendruckes vom Blutdruck.
1. Puls und Atemschwankungen.
2. Die Erscheinungen am Augendruck bei gröberen Blutdruckänderungen, sowie Analyse des Zusammenhanges zwischen beiden.
II. Wirkung der intravenösen Adrenalin-Injektionen auf den Augendruck.
III. Einfluss des Halssympathikus auf das Auge.
IV. Anämie und Stauung am Auge.
V. Wirkung subkonjunktivaler Kochsalzinjektionen.

Einleitung.

Wie es historisch die Forschung nach den Ursachen des Glaukoms war, die den ersten Anstoss zum Studium des Augendruckes an Tieren gegeben hat, so wird der Endzweck derartiger experimenteller Untersuchungen stets in der Aufklärung der Probleme der menschlichen Pathologie und Therapie des Augendruckes liegen. Aber jeder weiss, wie weit wir von der Erreichung dieses Zieles noch entfernt sind, und es muss daher vorläufig unsere Aufgabe bleiben, durch das physiologische Experiment die Momente kennen zu lernen, von denen der Augendruck normalerweise abhängig ist, oder durch die er künstlich beeinflusst werden kann. Denn nur hierdurch kann mit der Zeit eine exakte Grundlage für die Beurteilung pathologischer Vorgänge gewonnen

werden. Obwohl nun auch in dieser Richtung bereits viel gearbeitet worden ist, so herrschen doch noch so zahlreiche und erhebliche Widersprüche unter den bisherigen Forschungsergebnissen, dass von einer einheitlichen Lehre von der Physiologie des Augendrucks einstweilen nicht gesprochen werden kann.

Ist demnach eine Nachprüfung und Erweiterung unserer Kenntnisse auf diesem Gebiete schon an sich in vielen Punkten wünschenswert, so können solche Versuche auch noch nach einer zweiten Richtung hin Bedeutung gewinnen und zwar in Hinblick auf die Physiologie und Pathologie der Ernährung des Auges.

Dieser, auf den ersten Blick nicht ohne weiteres klarliegende Zusammenhang ist darin begründet, dass uns der Augendruck äusserst genaue Daten über die jeweiligen Zirkulationsverhältnisse im Auge liefert. Da derselbe nämlich im wesentlichen von zwei Faktoren, dem Wanddruck und Füllungszustand der intraokularen Gefässe einerseits, und der Menge der Augenflüssigkeiten andererseits abhängig ist, während die Elastizität der Bulbuswandungen demgegenüber nur eine sekundäre Rolle spielt, so stellen Messungen des intraokularen Druckes in Zusammenhalt mit gleichzeitigen Untersuchungen der qualitativen und quantitativen Veränderungen der Augenflüssigkeiten die geeignetste Methode dar, um uns über die Abhängigkeit der Ernährungsvorgänge von der Zirkulation im Auge Aufschlüsse zu geben.

Gerade wenn man auf diese letzteren Beziehungen Wert legt, macht sich noch mehr als in der ersterwähnten Richtung das Bedürfnis nach einer exakteren Messungsmethode des Augendruckes fühlbar.

Dass tonometrische Untersuchungen am Tierauge keinen Anspruch auf hinlängliche Genauigkeit machen können, braucht kaum hervorgehoben zu werden. Ist doch die Tonometrie eigentlich nichts anderes, als ein klinisches Ersatzmittel für die am Menschen nicht anwendbare Manometrie. Aber auch die Messungen mit Hilfe eines offenen Quecksilbermanometers, wie sie zurzeit üblich sind, reichen in vieler Beziehung nicht aus. Das hängt damit zusammen, dass der Augendruck, wie wir später sehen werden, in einer äusserst feinen Abhängigkeit vom Blutdruck steht. Es ist daher erstes Erfordernis jeglicher derartiger Untersuchungen, dass stets gleichzeitig der Blutdruck mit bestimmt wird. Nun ist es aber, wie jeder erfahren haben wird, der solche Versuche angestellt hat, nicht leicht zu beurteilen, wie weit die Änderungen des Quecksilberstandes im Manometer durch die oft recht schnellen Schwankungen der Blutdruckhöhe bedingt sind, wie weit nicht; auch

bleibt man mit seinen Beobachtungen und Notierungen des Manometerstandes meist hinter der Blutdruckregistrierung zurück. Es genügen deshalb in solcher Weise ausgeführte Messungen wohl dann, wenn es sich nur darum handelt, momentane Veränderungen während irgend eines Eingriffes festzustellen. Sobald man aber den ganzen Verlauf einer Druckänderung ermitteln will, versagen sie mehr oder minder den Dienst. Das gilt noch mehr, wenn es sich um eine Analyse des feineren Zusammenhanges zwischen Augendruck und Blutdruck oder um die erwähnten Beziehungen zu den Problemen der Ernährungsphysiologie des Auges handelt.

Hier kann nur eine fortlaufende genaue Selbstregistrierung des Augendruckes zuverlässige Resultate ergeben, und ich habe es daher als meine erste Aufgabe betrachtet, eine Methode zu suchen, die es ermöglichte, den Augendruck mit der gleichen Exaktheit und Bequemlichkeit graphisch zu registrieren, wie wir es in den physiologischen Laboratorien vom Blutdruck gewohnt sind.

Graphische Registrierungen des Augendruckes sind nun schon früher von anderen Autoren ausgeführt worden. Ihren Methoden haften indessen teils nicht unerhebliche technische Schwierigkeiten, teils gewisse Fehler an. Zur Beurteilung der letzteren ist es erforderlich, mit wenigen Worten auf das Prinzip der Manometrie des Auges im allgemeinen einzugehen.

Methodisches zur Augendruckmessung.

Grundbedingung für jede exakte manometrische Messung am Auge ist, dass durch das Messverfahren selbst der Inhalt des Auges weder vermehrt noch vermindert wird, d. h. dass niemals auch nur eine Spur von Kammerwasser oder Glaskörperflüssigkeit aus dem Auge ins Manometer, oder Flüssigkeit aus letzterem ins Auge tritt. Denn jeder Inhaltsverlust setzt die Spannung im Auge herab, jeder Zuwachs erhöht sie. Dieses Grundprinzip wurde, abgesehen von den allerersten Versuchen von Wegner (53) und Adamuek (1), schon von jeher von allen Autoren, die sich mit der Manometrie des Auges beschäftigten, richtig gewürdigt und durch entsprechende Einrichtungen an ihren Manometern berücksichtigt.

Es handelt sich dabei stets um Regulierungsvorrichtungen, die es ermöglichen, das Quecksilber in dem dem Auge zugekehrten Mano-

meterschenkel in jedem Augenblick wieder auf seinen alten Stand zu bringen.

Gruenhagen und v. Hippel (13) bedienten sich zu diesem Zwecke des noch etwas umständlichen Verfahrens, Quecksilber mit einer Pipette in den offenen Schenkel des Manometers nachzufüllen resp. aus ihm auszusaugen. Diese Methode genügt aber den gestellten Anforderungen nicht, weil sie zuviel Zeit erfordert, und das Manometerrohr zum bequemen Nachfüllen des Quecksilbers einen zu grossen Querschnitt haben muss. Infolgedessen ist immer bereits zu viel Flüssigkeit aus dem Auge ausgetreten, ehe die Regulierung erfolgt ist. Es ist darum Hauptbedingung eines guten Manometers, dass der Querschnitt des Rohres ein möglichst kleiner ist, und die Niveaueinstellung des Quecksilbermeniskus möglichst schnell erfolgen kann.

Hoeltzke (23) und nach ihm Rindfleisch (44) verwendeten deshalb ein Doppelmanometer, bei dem an dem Kommunikationsrohre ein durch eine Schraube komprimierbarer, mit Kochsalzlösung gefüllter Gummiballon oder ein kleiner Zylinder mit Stempelvorrichtung angebracht war, wodurch gleichmässig viel Kochsalzlösung in die inneren Schenkel der beiden Manometer eingepresst, resp. aus ihnen ausgesogen werden konnte. Das dem Auge zugewandte Manometer diente demnach zur Niveauregulierung, während das andere gleichzeitig den Druck angab.

Eine noch einfachere Methode hat v. Schultén (48) angegeben. Er benützte ein einzelnes Quecksilbermanometer, das er an der unteren U-förmigen Krümmung mit einem kleinen Gummiballon kommunizieren liess, der mit Quecksilber gefüllt war. Durch Kompression dieses Ballons mittelst einer Schraube konnte das Quecksilber sehr schnell auf jeden beliebigen Stand gebracht werden.

Ein diesem ähnliches Prinzip habe ich bei meinem später genauer zu beschreibenden Manometer (siehe Fig. 1, S. 12) verwendet. Es steht dabei das Manometerrohr ebenfalls an seiner unteren Krümmung mit einem Quecksilberreservoir in Verbindung. Dieses besteht aber nicht aus Kautschuk, sondern ist nichts anderes als eine Erweiterung des Glasrohres, in die, luftdicht schliessend, eine Schraube mit sehr feinem Gewinde eintaucht. Da die Schraube ganz aus Stahl besteht und selbst an ihrem Kopf nicht gelötet, sondern genietet ist, ist eine Verunreinigung des Quecksilbers durch das Metall ausgeschlossen. Mit Hilfe dieser Schraube ist eine äusserst schnelle und exakte Regulierung des Quecksilberstandes im Manometerrohr möglich. Das Lumen des

Manometerrohres selber habe ich dabei etwa 1,13 mm im Durchmesser gewählt, so dass jeder Höhenmillimeter einem Kubikmillimeter Inhalt entspricht.

Wie man sieht, besteht also keine Schwierigkeit, eine Verminderung oder Vermehrung des Bulbusinhaltes bei der Manometrie des Auges zu vermeiden. Man braucht dazu nur anfänglich einen dem durchschnittlichen Augendruck entsprechenden Überdruck im offenen Manometerschenkel herzustellen (also etwa = 25 mm Hg) und dann nach Öffnung der Verbindung mit dem Auge bei etwaigem Vor- oder Zurücktreten des Quecksilbers, dieses durch Drehung der Schraube am Reservoir wieder auf seinen alten Stand, d. h. auf den Nullpunkt in dem dem Auge zugewandten Schenkel zu bringen. Es ist nun aber ersichtlich, dass diese Regulierung nicht nur im Anfang, sondern auch während der ganzen Dauer jedes Experimentes bei allen grösseren Schwankungen des Augendruckes zu geschehen hat. Denn auch hier würde anderenfalls bei einer Drucksteigerung Flüssigkeit aus dem Auge aus-, bei einer Druckerniedrigung Flüssigkeit in dasselbe eintreten und der Quecksilberstand nur einen Bruchteil der im geschlossenen Auge vor sich gehenden Druckschwankungen anzeigen.

Aus diesem Grunde ist eine ganz ideale graphische Registrierung des Augendruckes eigentlich überhaupt unausführbar. Die Autoren, die sie praktisch angewendet haben, haben daher zum Teil auch auf die Vermeidung des gekennzeichneten Fehlers einfach verzichtet. So Bellarminoff (4 u. 5), der als erster Augendruckkurven aufnahm. Er bediente sich zu diesem Zwecke eines v. Schulténschen Manometers, das mit dem Auge durch ein längeres horizontales Glasrohr in Verbindung stand. Dieses war mit einer gefärbten, für die chemisch wirksamen Strahlen undurchlässigen Flüssigkeit gefüllt, in der sich als Indikator eine kleine Luftblase befand. Die Schwankungen der Luftblase wurden auf photographischem Wege auf rotierendem Bromsilberpapier aufgenommen. Es leuchtet ein, dass hierbei wohl eine erstmalige Regulierung des Standes der Luftblase möglich ist, dass aber im weiteren Verlauf des Experimentes ein Austritt von Flüssigkeit aus dem Auge bei Zunahme des Augendruckes, sowie ein Flüssigkeitsrücktritt im umgekehrten Falle nicht vermieden werden kann. So schön daher auch momentane Druckschwankungen bei diesem Verfahren zur Abbildung gelangen, so müssen die erhaltenen Kurven doch sowohl bezüglich ihrer absoluten Höhe als auch ihres zeitlichen Verlaufes Fehler haben, auf deren Grösse und

Bedeutung gleich noch des näheren eingegangen werden soll. Ausserdem ist das Verfahren aber natürlich ein recht umständliches, zumal gleichzeitige Blutdruckbestimmungen, Reiz- oder Zeitmarkierungen ebenfalls nur auf optisch-photographischem Wege dabei aufgenommen werden können.

Diese Unbequemlichkeiten teilt nicht das einfache Verfahren von Kahn (25), das aber im übrigen die gleichen Fehler mit dem Bellarminoffschen gemein hat. Kahn bediente sich eines gewöhnlichen regulierbaren Quecksilbermanometers, auf dessen Quecksilbermeniskus im offenen Schenkel nach der in der Physiologie sonst vielfach üblichen Methode ein feiner Schwimmer aufgesetzt war, der an der rotierenden Trommel das Kymographion schrieb.

An dritter Stelle endlich sind Starling und Hendersen (20) zu nennen, die den Augendruck mit Hilfe eines Wassermanometers, das mit einem Pistonrekorder in Verbindung stand, aufzeichneten. Durch ein seitlich angebrachtes Wasserreservoir, das mit dem Manometer kommunizierte und dessen Höhe variierbar war, konnten sie dabei den Stand einer als Indikator dienenden Luftblase in dem dem Auge zugewandten Rohre sowohl im Anfange als auch während der ganzen Dauer des Versuches regulieren. Sie vermieden also den Fehler der Inhaltsänderung des Auges, notierten nun aber mit dem Pistonrekorder, dessen Hebelmechanismus an der berussten Trommel schrieb, eigentlich nicht die Kurve des Augendruckes, sondern die jeweiligen Regulierungen selbst. Sie erhielten demnach wohl den absoluten Werten nach annähernd richtige, aber abgesetzte Kurven. Auch sind natürlich die momentanen Volumensänderungen im Auge bei Anwendung eines Wassermanometers, dessen Röhren entsprechend länger und wegen der stärkeren Adhäsion des Wassers am Glase auch weiter sein müssen, viel erheblicher als bei Verwendung eines Quecksilbermanometers. Trotz möglichst schneller Regulierung werden daher Inhaltsveränderungen im Auge nach diesem Prinzip nicht immer zu vermeiden sein, auch geht die Regulierung leicht im ersten Moment über das gewünschte Ziel hinaus, was aber an der Kurve immer mitnotiert wird.

Es war deshalb mein Bestreben, eine Methode zu finden, die es erlaubte, den Augendruck an der rotierenden Trommel des Kymographion mit der gleichen Bequemlichkeit wie die beiden letzterwähnten Verfahren aufzuschreiben, die aber die genannten Fehler nicht, oder wenigstens in bedeutend geringerem Masse hatte.

Ehe ich auf die Beschreibung der Methode, die mir als die ge-

eignetste erschien, sowie auf die Gerstaltung des von mir verwendeten Apparates eingehe, sollen aber die in Rede stehenden Fehler noch genauer besprochen werden, da es auf den ersten Blick vielleicht als eine übertriebene Peinlichkeit erscheinen könnte, sie durchaus vermeiden oder verringern zu wollen, zumal ja den erwähnten Autoren immerhin für viele Zwecke durchaus brauchbare Kurven gelangen. Folgende Experimente und Erwägungen mögen darum die Berechtigung meiner Auffassung zeigen.

Wählt man zum Manometer ein Rohr von annähernd 1,13 mm Durchmesser, so dass jeder Höhenmillimeter 1 cmm Inhalt entspricht — und engere Röhren werden schwerlich anwendbar sein, wenn man die Bewegungen einer Luftblase oder eines Schwimmers registrieren will — so ist ersichtlich, dass, wenn das Quecksilber um 1 mm steigen soll, stets $^1/_2$ cmm Flüssigkeit aus dem Auge ins Manometer austreten muss, da der Stand im inneren Schenkel ja um ebensoviel sinkt, wie derjenige im äusseren steigt. Ebenso muss umgekehrt bei jedem Sinken des Manometers um 1 mm Hg $^1/_2$ cmm Flüssigkeit ins Auge eintreten. Es fragt sich nun: um wieviel wird durch dieses Aus- und Eintreten von Flüssigkeit der Druck im Auge vermindert oder erhöht? Es liegt auf der Hand, dass dies von der Spannung der Sklera d. h. von dem jeweils vorhandenen intraokularen Druck abhängt. Denn je praller die Augenwandungen bereits gespannt sind, eine um so kleinere Flüssigkeitsmenge ist dazu erforderlich, um den Augendruck noch um ein bestimmtes Mass zu steigern. Koster (27) hat bereits Versuche angestellt, um die Flüssigkeitsquantitäten zu messen, die innerhalb der verschiedenen Druckhöhen erforderlich sind, um den Druck um je 1 mm Hg zu erhöhen. Aus seiner das Kaninchenauge betreffenden Tabelle geht hervor, dass im Durchschnitt innerhalb der Druckhöhen von 5—10 mm: ungefähr 6 cmm, von 10—20: $3^1/_2$ cmm, von 20—30: 1 cmm, von 30—40: $^3/_4$ cmm und von da bis 100 etwa $^1/_3$ cmm Flüssigkeit erforderlich sind, um den Augendruck jeweils um 1 mm Hg zu erhöhen. Da die Einzelwerte Kosters, so weit sie das Kaninchenauge anbetreffen, untereinander ziemlich stark differieren (die erwähnten Zahlen sind Mittelwerte), so habe ich zur Kontrolle noch eine grosse Anzahl eigener Messungen vorgenommen, und zwar habe ich nicht nur die Menge Flüssigkeit bestimmt, die ins Auge eingepresst werden musste, um den Druck jeweils um 5 oder 10 mm Hg zu vermehren, sondern ich habe die 2 Augen der Tiere gleichzeitig durch ein Differentialmanometer nach

Hamburger (15) mit einander in Verbindung gesetzt und nach Herstellung des Überdrucks auf der einen Seite an der Wanderung des Petroleumtropfens in dem ebenfalls ca. 1,13 mm im Durchmesser messenden Kommunikationsrohre den Inhaltsunterschied zwischen beiden Augen gemessen. Auf diese Weise hatte ich nach jeder Flüssigkeitseinpressung die sofortige Kontrolle.

Die durchschnittlichen Werte, die aus 70 an 4 mittelgrossen Kaninchen vorgenommenen Messungen berechnet wurden, sind in folgender Tabelle niedergelegt. Die Messungen erstrecken sich dabei nur auf die im Bereich der gewöhnlichen Experimente vorkommenden Augendruckhöhen.

Quantität physiol. NaCl-Lösung, die durchschnittlich erforderlich ist, um den Augendruck um 1 mm Hg zu erhöhen:

zwischen	10	und	15	mm Hg	. .	3 cmm
„	15	„	20	„ „	. .	1,5 „
„	20	„	25	„ „	. .	0,8 „
„	25	„	30	„ „	. .	0,7 „
„	30	„	35	„ „	. .	0,5 „
„	35	„	50	„ „	. .	0,3 „

Wie man sieht, stimmen die gefundenen Werte ziemlich gut mit denen von Koster überein. Auch nach ihnen würde sich die Abnahme der erforderlichen Flüssigkeitsmenge, wollte man sie in Kurvenform wiedergeben, etwa in der Form einer Parabel darstellen.

Aus diesen Werten geht nun aber hervor, dass wenn in dem mit dem Quecksilbermanometer in Verbindung stehenden Auge der Druck um 1 mm Hg steigt, durch die hierdurch bedingte Bewegung des Quecksilbers dem Auge, wenn es etwa normalen Augendruck (zwischen 20 und 25 mm Hg) besitzt, soviel Flüssigkeit verloren geht, dass der Druck hierdurch wieder um mindestens ½ mm Hg sinken würde. Wenn das Auge sich unter einem Druck von 30—35 mm Hg befindet, so würde aus ihm bei jeder Druckerhöhung um 1 mm sogar soviel Flüssigkeit austreten, dass der Druck um 1 mm sinken müsste, zwischen 35 und 50 um 1½ und so fort. Dies heisst aber nichts anderes, als dass jede Druckerhöhung zwischen 20 und 25 mm am Manometer nur etwa drei Viertel so gross, zwischen 30 und 35 halb und zwischen 35 und 50 ein Drittel so gross gemessen wird, als sie im geschlossenen Bulbus tatsächlich ist.

Dies sind denn doch ganz erhebliche Differenzen. Sie werden sich allerdings bei den ganz schnell erfolgenden Druckänderungen, wie den Puls- und Atemschwankungen nicht geltend machen, da sie hierbei durch die Schleuderung des Quecksilbers kompensiert werden. Das ist auch der Grund weshalb die Beobachtungen der Pulsschwankungen an der freien Quecksilberkuppe (Koster), oder ihre graphische Registrierung vermittelst der Bewegung der Luftblase am Bellarminoffschen Apparat fast die gleichen Höhenunterschiede ergeben haben, wie ich sie an späterer Stelle an Kurven, die mit meinem Apparat gewonnen sind, werde zeigen können. Bei längerdauernden, allmählich zunehmenden Drucksteigerungen müssen indessen die Differenzen zwischen den im geschlossenen Bulbus wirklich statthabenden Druckänderungen und den am Manometer gemessenen Werten doch sehr störende werden.

Aber nicht nur um quantitative Unterschiede handelt es sich dabei, die sich ja allenfalls durch Berechnung eliminieren liessen, sondern auch zeitliche Verschiebungen der Druckänderungen müssen die Folge der genannten Fehler sein.

Dies geht aus folgender Überlegung hervor:

Nehmen wir an, der Augendruck stiege in einem Auge langsam an, z. B. durch eine allmählich zunehmende Hyperämie der inneren Gefässe. Diese möge im geschlossenen Auge ihren Kulminationspunkt bei einem Augendruck von 50 mm Hg erreicht haben, und von da ab langsam nachlassen. In dem mit dem offenen Manometer kommunizierenden Auge würde nun zur gleichen Zeit der Druck vielleicht erst etwa die Höhe von 40 mm Hg erreicht haben, und es wäre nun sehr wohl möglich, dass infolgedessen die Hyperämie im inneren Auge noch nicht so bald nachliesse und der Druck noch weiter bis beispielsweise 45 mm stiege, während er im geschlossenen Auge zu gleicher Zeit bereits absinken würde. Eine gleiche Verzögerung könnte dann der absteigende Schenkel der Kurve erfahren. Dass solche Fälle nicht nur theoretisiert sind, wird sich im weiteren Verlaufe unserer Darstellung zeigen. Es kommt aber noch etwas weiteres hinzu.

Durch die Untersuchungen, die Leber in Gemeinschaft mit Pilzecker (32) angestellt hat, wissen wir, dass die Sklera die Eigentümlichkeit der elastischen Nachwirkung besitzt, d. h. dass bei gleicher Druckhöhe nach vorangegangener Druckerhöhung weniger, nach vorangegangener Druckentlastung mehr Flüssigkeit in der Zeiteinheit in das Auge einläuft. Oder mit anderen Worten: die vorher gedehnte Sklera zieht sich nach ihrer Entlastung noch nachträglich weiter zusammen,

die vorher entspannte Sklera dehnt sich bei Belastung noch langsam weiter. Im geschlossenen Auge kommen die spontanen Druckänderungen nun nur durch Vermehrung resp. Verminderung des Augeninhalts und zwar in erster Linie durch Volumenänderungen der intraokularen Gefässe zustande. Bei dem mit dem offenen Manometer in Verbindung stehenden Auge kommt dagegen im Moment der intraokularen Druckänderung noch das Flüssigkeitsquantum hinzu, das bei der vorangegangenen Drucksteigerung ins Manometerrohr, bei vorangegangener Druckerniedrigung ins Auge eingedrungen war, und nun die rückläufige Bewegung machen muss. Es liegt auf der Hand, dass infolge der elastischen Nachwirkung diese rückläufigen Bewegungen sowohl in der einen wie in der andern Richtung verlangsamt und durch dieses Moment die Kurven ebenfalls wieder verlängert werden müssen.

Alle diese Fehler sind natürlich vollständig zu vermeiden, wenn man während des ganzen Verlaufes der Experimente durch Regulierung den Stand des Quecksilbers in dem dem Auge zugewandten Manometerschenkel stets auf dem Nullpunkt hält. Erstens erfordert dies aber eine ständige Überwachung und dann erhält man unregelmässig abgesetzte Kurven, zumal die Regulierung ja leicht einmal im ersten Augenblick über das Ziel hinausschiessen wird, und das Quecksilber dann wieder zurückgestellt werden muss.

Auf der andern Seite lassen sich aber die in Rede stehenden Fehler nie ganz umgehen, denn eine selbsttätige Vorrichtung, das Quecksilber stets auf dem Nullpunkt zu halten, ist unausführbar, und es bleibt deshalb, wie gesagt, eine ganz korrekte graphische Registrierung ein unerreichbares Ideal. Wohl aber ist es möglich, die Fehler so weit zu verringern, dass sie nicht mehr in einem in Betracht kommenden Grade stören können, und es war daher mein Bestreben darauf gerichtet, einen Apparat zu konstruieren, bei dem dieses Postulat erfüllt ist, und der gleichzeitig eine bequeme Handhabung gestattet.

Ein kleines Ophthalmomanometer, bei dem die Fehler auf ein Minimum reduziert sind, besitzen wir freilich bereits in dem von Hering angegebenen (beschrieben bei Adamuek (2). Dies besteht bekanntlich in weiter nichts, als einem feinen, an die Vorderkammerkanüle angeschmolzenen Kapillarröhrchen, dessen Ende geschlossen ist, und das zur Hälfte mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt ist. Hierbei kann niemals Flüssigkeit in grösserer Menge aus dem Auge aus-, oder in dasselbe eintreten, vielmehr bewirken die Druckänderungen nur eine geringere oder stärkere Kompression der in der Kapillare eingeschlossenen

Luft. Hinderlich für die Verwendung dieses kleinen Apparates, der bei Lupenvergrösserung die Puls- und Atemschwankungen des Auges sehr gut erkennen lässt, ist aber erstlich seine Abhängigkeit von der Temperatur, zweitens, dass bei Zunahme des intraokularen Druckes die Ausschläge entsprechend den Gesetzen der Luftkompression abnehmen, dass also eine Eichung mit ziemlichen Schwierigkeiten verknüpft ist. Vor allem aber wäre zur graphischen Registrierung mit ihm wieder das umständliche photographische Verfahren notwendig geworden.

Es musste deshalb gesucht werden, einen mit dem Manometer in Verbindung stehenden Hebelmechanismus zu konstruieren, der selbsttätig an der rotierenden Trommel des Kymographions registrierte, und bei dem der Flüssigkeitsverlust auf einen möglichst geringen Grad reduziert werden konnte. Es lag dabei am nächsten, entweder einen auf dem Quecksilber des offenen Manometerschenkels ruhenden Schwimmer, oder einen kleinen mit Flüssigkeit gefüllten, mit dem Auge in Verbindung stehenden Pistonrekorder gegen einen Federwiderstand arbeiten zu lassen, um so die Exkursionen des Quecksilbers resp. des Rekorders zu verringern. Dadurch wäre in der Tat eine erhebliche Verkleinerung des Flüssigkeitsaufwandes zu erzielen gewesen, aber es war zu befürchten, dass die Reibungswiderstände und dadurch die Trägheit des Apparates so stark vermehrt werden würden, dass die feinen Ausschläge des Augendrucks in den Kurven verloren gegangen sein würden.

Ich glaubte deshalb besser zum Ziele zu gelangen, wenn ich das Prinzip der Mareyschen Kapsel verwendete und eine ganz kleine mit möglichst feinem Gummi überzogene, mit Flüssigkeit gefüllte solche Kapsel einerseits mit dem Auge, anderseits mit dem Manometer kommunizieren liess. Das Prinzip dieses Apparates, der in der Tat den Erwartungen entsprach, habe ich bereits gelegentlich einer kurzen Demonstration auf dem Heidelberger Kongress im Jahre 1906 mitgeteilt Ich habe ihm aber nunmehr die definitive Form gegeben, wobei ich ihn in mehrfacher Hinsicht verbessert und vor allem für bequeme gleichzeitige Druckregistrierung an beiden Augen eingerichtet habe.

Beschreibung des Registriermanometers[1]).

Der Apparat zerfällt in 2 Teile, die in Fig. 1 u. 2 gesondert in 1/3 natürlicher Grösse dargestellt sind: das Manometer und den Registrierapparat oder Tonographen.

---

1) Der Apparat ist vom Mechaniker und Uhrmacher Elsasser, Berlin, Markgrafenstr. 66 zum Preise von 100 Mk. zu beziehen.

Das Manometer besteht aus den beiden Rohren a und b, die ein Lumen von nahezu 1,13 mm haben, und an ihren oberen Enden

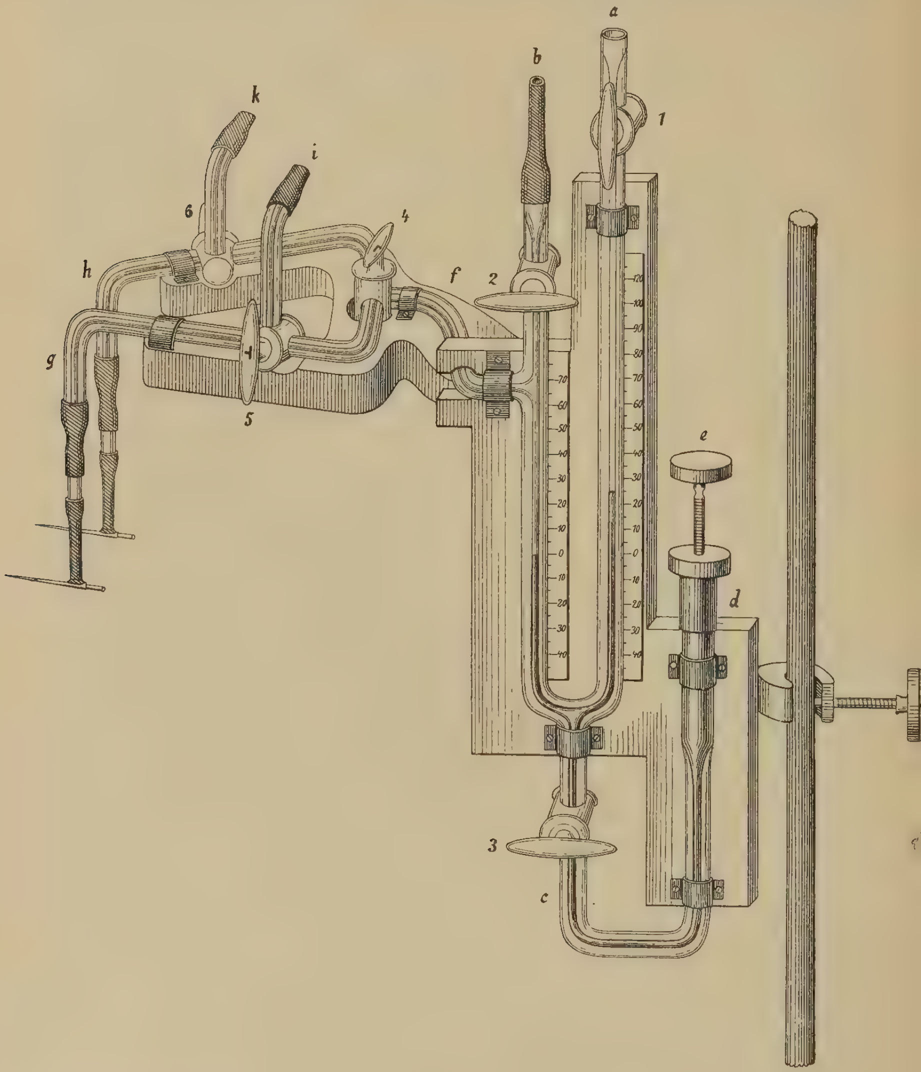

Fig. 1.

Erweiterungen behufs bequemerer Füllung besitzen. Vor diesen Erweiterungen sind sie durch die Glashähne 1 u. 2 abzuschliessen. An ihrer unteren U-förmigen Verbindung gehen sie in das Rohr c über,

welches, aufwärts gebogen, sich zu dem schon an früherer Stelle erwähnten Quecksilberreservoir erweitert, in das bei d luftdicht schliessend die Stahlschraube e eintaucht. Das Reservoir ist gegen das eigentliche Manometerrohr durch Hahn 3 abzusperren. Die Füllung des Apparates mit Quecksilber geschieht von d aus nach Herausnahme

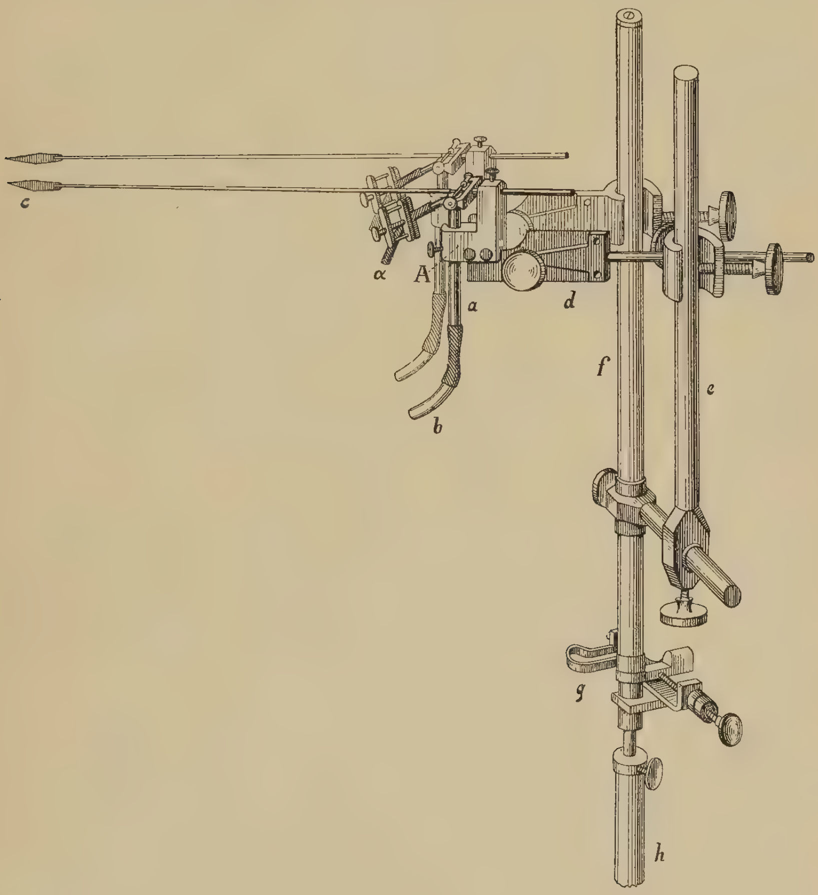

Fig. 2.

der Schraube e. Der dem Auge zugewandte Manometerschenkel geht nun unterhalb des Hahnes 2 in ein horizontal nach hinten gebogenes Glasrohr f über, welches sich bei Hahn 4 in die beiden Rohre g und h gabelt, die vermittelst ganz kurzer dickwandiger Schlauchstückchen mit den Durchstichkanülen für die beiden Augen in Ver-

bindung stehen. Der Hahn 4 hat eine einfache rechtwinklige Durchbohrung, so dass man Rohr f wechselnd mit Rohr g oder h kommunizieren lassen kann. Von diesen beiden Rohren zweigt nun wiederum (bei Hahn 5 und 6), sich nach oben und dann nach hinten wendend, je ein weiteres Rohr i und k ab, welches vermittelst einer Schlauch-Glasverbindung zum Registrierapparat führt. Der Hahn 5 ist ein T-Hahn, der es ermöglicht, i nur mit g und f oder mit beiden zusammen in Verbindung treten zu lassen. Das Analoge gilt von Hahn 6. Das ganze System, von den Vorderkammerkanülen bis zum Quecksilbermeniskus im inneren Manometerschenkel, ist mit sorgfältig filtrierter physiologischer (0,8 %iger) Kochsalzlösung gefüllt. Um die Füllung zu erleichtern, ist bei b ein Schlauchstück aufgesetzt, in das eine Spritze eingefügt werden kann, mit der dann unter entsprechender Stellung der Hähne das ganze Röhrensystem vollgesogen werden kann [1]). Nur über dem Quecksilber im äusseren Manometerschenkel steht Luft. Selbstverständlich muss der Hahn 1 während der Messungen geöffnet sein. Er dient überhaupt nur dem Zwecke, im gegebenen Falle vom Quecksilberreservoir aus allein den Stand des Meniskus im inneren Schenkel zu verändern, was während der Füllung des Apparates erforderlich sein kann.

Es ist nach alledem leicht ersichtlich, dass man mit dem Apparat in bequemer Weise abwechselnd jedes Auge mit seinem zugehörigen Registrierapparat oder mit dem Quecksilbermanometer, oder letzteres mit jeder der Registriervorrichtungen in Verbindung setzen kann. Der sicheren Handhabung wegen ist das ganze Röhrensystem auf einem starken Holzbrett befestigt, das mittelst einer Muffe an einem eisernen Stativ beliebig verstellt werden kann.

Ich möchte an dieser Stelle gleich dem Einwand begegnen, dass die vielen Hähne sowie Schlauchverbindungen möglichenfalls Fehler bedingen könnten. Es ist dies aber durchaus nicht der Fall. Denn

---

[1]) Mit diesem Schlauchstück kann auch durch eine längere Schlauch-Glas-Leitung ein an einem Querbalken angebrachtes, mit Millimeterteilung versehenes horizontales Glasrohr von ca. 50 cm Länge und 1,13 mm Weite in Verbindung gesetzt werden, welches, mit Flüssigkeit gefüllt, in der von Zuntz angegebenen Weise (beschrieben von Hamburger [18]) als Filtrationsmanometer dienen kann. Es braucht dabei die Höhe des Rohres nicht bestimmt, ebensowenig die Dehnung in den Schlauchstücken berücksichtigt zu werden, da der jeweilige Filtrationsdruck direkt am Hg-Manometer abgelesen werden kann. Auf diese Weise ist der Apparat auch als Filtrationsmanometer, also gewissermassen als Universalmanometer brauchbar.

wenn die Glashähne sorgfältig gearbeitet und in richtiger Weise eingefettet sind, so schliessen sie vollkommen zuverlässig und was die Schlauchverbindungen anbetrifft, so kommt, wenn man sie nur genügend kurz und genügend dickwandig wählt, eine Dehnung nicht in Betracht. Ja, ich bevorzuge sogar, wie auch aus der Zeichnung bei g und h hervorgeht, lieber mehrfache Schlauchverbindungen. Man kann dann Glasrohr fast an Glasrohr anstossen lassen, ohne dass die zur Einführung der Kanüle nötige Beweglichkeit wesentlich beeinträchtigt wird. Nur müssen zur grösseren Sicherheit alle Schlauch-Glasverbindungen durch

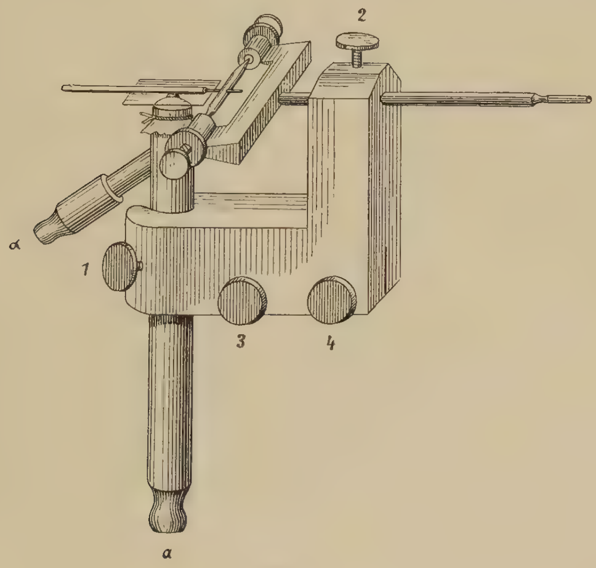

Fig. 3.

feste Umschnürungen mit gewachsten Fäden gesichert und der Apparat vor jedem Versuch auf seine absolute Dichtigkeit geprüft werden.

Der Registrierapparat ist in Fig. 2 ebenfalls in dreifacher Verkleinerung, sein wichtigster Bestandteil, der eigentliche Tonograph, der grösseren Deutlichkeit halber nochmals in Fig. 3 in natürlicher Grösse dargestellt. Derselbe besteht in der Hauptsache aus dem engen Metallröhrchen a, das sich oben ein wenig verjüngt und eine Rille zum Aufbinden der Gummimembran besitzt. Seitlich nach hinten befindet sich an ihm noch ein Rohransatz α, der nur zum bequemen Füllen des Röhrchens dient und durch eine Schlauchklemme verschlossen wird.

Die wasserdicht aufgebundene und aufgekittete Gummimembran muss aus feinstem Kondomgummi bestehen. In ihrer Mitte trägt sie ein gan kleines aufgekittetes Stahlhalbkügelchen, das den Hebelmechanismus zu tragen hat. Dieser besteht aus einem ganz dünnen (resp. geteilten) Strohhalm, der an einer Uhrmacherachse befestigt ist, die mit ihren Spitzen in zwei Achaten läuft. Der Strohhalm lastet dabei auf dem Stahlhalbkügelchen mit einem kleinen rechteckigen Stückchen feinsten Deckglases, das an seiner Unterfläche angekittet ist. Auf diese Weise wird die Reibung auf ein Mindestmass herabgesetzt. Auch das Gewicht aller Teile ist ein möglichst geringes. Das mit der Gummimembran bespannte Röhrchen, sowie der Hebelträger werden, wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, in einem Metallklötzchen gehalten und sind in ihrer Stellung zueinander durch die Schrauben 1 und 2 zu verschieben. Dies ermöglicht, sowohl die Höhenstellung des Hebels wie seinen Drehpunkt zu variieren, und zwar lassen sich bei den gewählten Grössenverhältnissen des Hebels die Membranausschläge bis zu nahezu 200 facher Vergrösserung aufschreiben. Das Ende des Strohhalmes trägt eine gebogene Papierspitze, die aus besonders elastischem dünnen Ölpapier hergestellt sein muss, um an der Trommel des Kymographion gut zu schreiben. Diese selbst muss mit glattem Glanzpapier bespannt sein, auch darf das Papier nicht zu stark berusst werden, da andernfalls die Reibung eine zu grosse und die Markierung feinster Ausschläge verhindert werden würde. Das Röhrchen a steht durch ein Schlauchstück und durch ein gebogenes Glasrohr b in Verbindung mit dem Rohre i des Manometers (Fig. 1) und ist wie dieses vollständig mit Kochsalzlösung gefüllt. Ein Eindringen von Luftblasen muss dabei sorgfältig vermieden werden.

Wie man sieht, stellt der ganze Apparat nichts anderes dar, als eine allerkleinste Mareysche Kapsel, die mit Flüssigkeit gefüllt ist. Ihre Grösse kann leicht variiert werden, indem nach Lüften der Schraube 1 das Röhrchen a aus dem Einschnitt des Trägers herausgenommen und durch ein Röhrchen von anderer Öffnungsweite ersetzt wird. Ich habe zu diesem Zweck dem Apparat vier Paar solcher Röhrchen beigegeben, die an ihrer oberen Öffnung einen Durchmesser von 2,5, 3, 3,5 und 4 mm haben. Hierdurch und durch verschieden straffes Anspannen der Membran kann man die Grösse der Ausschläge in weiten Grenzen verändern.

Es ist nun natürlich auch zur Vorbauchung der kleinsten Gummimembran ein gewisses Flüssigkeitsquantum erforderlich, welches dem

Auge bei Drucksteigerungen also verloren geht. Diese Menge ist aber so gering, dass sie keine in Betracht kommenden Fehler mehr verursacht. Man kann sie jederzeit für jede Membran leicht bestimmen, indem man die Schreibkapsel mit dem Quecksilbermanometer durch entsprechende Stellung der Hähne 4 und 5 (Fig. 1) in Verbindung setzt und nun abliest, um wieviel das Quecksilber im inneren Schenkel vorrückt, wenn man den Stand im äusseren um 5, 10 oder 20 mm erhöht. Es ergibt sich dabei, dass bei den engeren Röhrchen und bei straffer Membrananspannung der Fehler nur 1 cmm Wasser auf 20 mm Hg beträgt, während er bei den weiteren Röhrchen und schlafferer Membran etwa den Wert von 1 cmm auf 5 mm Hg erreicht. Das heisst mit anderen Worten: bei einem Augendruck zwischen 20 und 25 mm würden die Messungen im ersteren Falle um $^1/_{40}$, im zweiten um $^1/_{10}$ von der wirklichen Grösse differieren.

Es ist danach ersichtlich, dass man sich zum Schreiben von Kurven, bei denen voraussichtlich sehr starke Druckänderungen auftreten, der kleineren und strafferen Membranen zu bedienen hat, bei feinen Druckschwankungen dagegen der grösseren und weniger gespannten, weil hierbei die Ausschläge natürlich entsprechend grösser werden [1]. Auch wählt man im ersteren Falle zweckmässig einen weiteren Hebelabstand, im letzteren einen engeren und zwar tut man gut, die Vergrösserungen sich innerhalb solcher Grenzen bewegen zu lassen, dass eine Zunahme des Druckes um 10 mm Hg einem Ausschlag des Hebels von mindestens 5 bis höchstens 25 mm entspricht. Beachtet man alle diese Vorschriften, so sind die Fehler in der Tat stets so gut wie zu vernachlässigen.

Was nun das Verhältnis der Grösse der Hebelausschläge zum jeweiligen Augendruck bei ein und derselben Membran anbetrifft, so ist innerhalb derjenigen Druckhöhen, mit denen wir praktisch am Auge zu rechnen haben, fast vollständige Proportionalität vorhanden, d. h. wenn wir den Druck immer von 5 zu 5 mm Hg erhöhen, so sind die Hubhöhen des Hebels innerhalb der Grenzen von 15 bis 60 mm

---

[1]) Den richtigen Grad der Spannung lernt man bald durch Übung finden, doch muss jede Membran vor Beginn des Versuches erst geprüft werden, ob sie den jeweiligen Ansprüchen genügt. Es besteht darin, sowie in dem Umstande, dass die Membran mit der Zeit an Spannung nachlässt oder überhaupt unbrauchbar wird, ja eine gewisse Unbequemlichkeit, doch konnte ich bisweilen 2—3 Wochen lang mit derselben Membran schreiben.

Hg nahezu untereinander gleich gross. Von da ab werden sie nach unten hin ein wenig grösser, nach oben ein wenig kleiner.

Es ist dies nicht das Ergebnis einer theoretischen Berechnung, sondern der praktischen Prüfung des Apparates. Doch zeigt auch die theoretische Erwägung, dass innerhalb der in Rede stehenden engen Druckgrenzen, in denen die Formänderungen der Membran Kugeloberflächen von abnehmendem Radius entsprechen, die Ausdehnung jedes Längenteiles der Membran, d. h. ihre Spannung — und diese ist gleich dem auf ihr lastenden Druck — annähernd proportional zur Höhe des Kugelabschnittes zunimmt. Doch würde es zu weit führen, auf die mathematische Seite dieser in ihren Details recht kompliziert werdenden Frage hier näher einzugehen [1]), und es mag für unseren Zweck die Sicherstellung des praktischen Ergebnisses genügen, von dem sich jeder an der Hand der an späteren Stelle reproduzierten Kurven überzeugen kann. Man ersieht an denselben nämlich die Proportionalität der Hubhöhen zum Druck sehr gut aus den wenigstens in der Mehrzahl der Kurven mitreproduzierten Eichungslinien.

Diese Eichung, die am Schlusse jedes Versuches vorgenommen werden muss, geschieht, wie gleich hier ausgeführt werden mag, in folgender einfachen Weise. Man lässt die Schreibvorrichtung mit dem Manometer kommunizieren, stellt das Quecksilber zuerst auf 10 dann 15, 20, 25 mm Hg ein, und so fort, und zeichnet in jeder Stellung des Hebels mit ihm einen Strich auf der berussten Trommel. Hiernach sind dann an den Kurven jederzeit die absoluten Werte abzulesen und es ist, wie gesagt, eine besondere Annehmlichkeit, dass die Linienabstände dabei nahezu gleich gross sind, die Kurven also schon bei flüchtigem Anblick die richtigen Höhenverhältnisse erkennen lassen. Selbstverständlich muss aber jede Membran für sich und nach jedem Versuch besonders geeicht werden, da sich ihre Elastizität mit der Zeit ändert.

Um nun ein bequemes Schreiben mit dem Apparat am Kymographion zu ermöglichen, sind die Schreibkapseln für beide Augen an einem Stativ vereinigt, das in Fig. 2 abgebildet ist. Die Vorrichtungen, die an demselben getroffen sind, um beliebige Höhen- und Seitenverschiebungen vornehmen zu können und die beiden Schreibspitzen

---

[1]) Vergl. darüber Nicolai, Die Gestalt der deformierten Manometermembran usw. Engelmanns Arch. f. Physiol. 1907.

untereinander schreiben zu lassen, sind aus der Zeichnung ausreichend ersichtlich. Einer besonderen Erklärung bedürfen nur noch die Schraubvorrichtungen d und g. Bei g befindet sich an dem Hauptstativ eine Feder und eine zugehörige Schraube, durch die das hohle Oberstativ um seine Längsachse gedreht werden kann. Dies lässt ein beliebiges An- und Abstellen des ganzen Stativs an der Kymographiontrommel zu. Damit aber auch jede Schreibspitze für sich gesondert möglichst fein an die Trommel angelegt werden kann, besteht der Halter d, auf dem der Tonograph mit der Schraube 3 und 4 aufgesetzt ist, aus einem relativ dünnen Metallstreifen, der durch eine Schraube mit feinem Gewinde von seinem Lager abgedrängt werden kann. Durch alle diese Vorrichtungen ist eine bequeme Einstellung der Schreibvorrichtung gewährleistet. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass natürlich auch Blutdruckschreiber, Reiz- und Zeitmarkierer an demselben Stativ angebracht werden können.

Technische Einzelheiten bei Anstellung der Versuche.

Nachdem das Manometer gefüllt ist, ist jedesmal sorgfältig darauf zu achten, dass sich die Öffnungen der Vorderkammerkanülen, der Nullpunkt des Quecksilbers und die Gummimembranen der Schreibkapseln in genau gleicher Höhe befinden, da andernfalls der Wasserdruck in den Röhren einen Fehler der Messungen bedingen würde. Vor Einführung der Kanülen in die Augen muss man dann erst einen Überdruck von etwa 25 mm Hg, sowohl im Quecksilbermanometer als auch in den Schreibkapseln herstellen, wobei man sich die Hebel gleichzeitig in der gewünschten Stellung zueinander einstellt. Darauf werden bei geschlossenen Hähnen 5 und 6 die Kanülen beiderseits in die Vorderkammer eingeführt, und zwar nimmt man Punktion und Kontrapunktion am besten bei mit dem Sperrelevateur auseinandergehaltenen Lidern vor. Beim Kaninchen kann man den Bulbus auch luxieren, und muss dann nur vor Herstellung der Kommunikation mit dem Manometer etwas länger warten. Vielleicht tritt allerdings bei diesem Verfahren leichter einmal ein Reizzustand im Auge ein, doch habe ich einen solchen auch bei noch so vorsichtiger Einführung gelegentlich beobachtet, so dass ich glaube, dass er nicht in jedem Falle zu vermeiden ist. Ein solches Vorkommnis gehört aber doch bei richtiger Ruhigstellung der Tiere, auf die gleich näher eingegangen werden soll, zu den Ausnahmen, auch ist es an der

charakteristischen Drucksteigerung sowie dem Engwerden der Pupille sofort kenntlich, sodass Irrtümer dadurch nicht entstehen können. Für die meisten Untersuchungen werden solche Versuche natürlich unbrauchbar und sind deshalb am besten von vornherein zu verwerfen.

Einer Einführung der Kanüle in den Glaskörper, welchem Verfahren v. Schultén nachrühmt, dass sie weniger leicht reize, habe ich mich nicht bedient, da dabei Kanülen von bedeutend grösserem Kaliber verwendet werden müssen, und selbst dann die Aufzeichnung keine so zuverlässige ist. Auch ist, wie gesagt, die Reizung bei richtiger Narkose ein äusserst seltenes Ereignis.

Einige Minuten nach erfolgter Einführung der Kanüle setzt man nun jedes Auge zunächst allein mit dem Quecksilber-Manometer in Verbindung, bestimmt durch Niveauregulierung den in ihm herrschenden Druck (wenn derselbe nicht zufällig etwa genau dem gewählten Überdruck gleichkommt), bringt dann jede Kapsel auf die entsprechende gefundene Druckhöhe und setzt hierauf erst das Auge mit dem Tonographen in Verbindung. Auf diese Weise tritt im Auge nicht die geringste Inhaltsänderung ein. Sofort müssen dann die Schreibhebel die später näher zu beschreibenden Puls- und Atemschwankungen erkennen lassen. Der Apparat ist damit zum Schreiben fertig, und es haben an ihm sämtliche Hähne die in Fig. 1 wiedergegebene Stellung.

Was die Versuchstiere anbetrifft, so verwendete ich in überwiegender Zahl Kaninchen, daneben aber auch Katzen und Hunde. Fast durchwegs wurden die Tiere curarisiert, und zwar erhielten die Kaninchen meist $1^1/_2$ ccm einer 2 %igen Curarelösung subkutan und $^1/_2$ ccm intravenös, die Katzen und Hunde entsprechend grössere Dosen subkutan. Nur ausnahmsweise wurde aus besonderen Gründen eine Urethan- oder Opiumnarkose angewendet (1 g Urethan pro Kilo per os, 2,5 ccm Tinctura opii spl. per rectum). Es sind das die beiden Narkotika, bei denen der Blutdruck noch relativ am wenigsten sinkt, während Chloral wegen der starken blutdruckherabsetzenden Wirkung nicht verwendbar ist. Im allgemeinen reichen die genannten Narkotika aber nicht aus, da sie die Lid- und Augenbewegungen nicht zum vollständigen Aufhören bringen, und dadurch erhebliche Störungen des Versuches bedingt werden. Auch ein Reizzustand im Auge tritt bei ihnen relativ häufig ein. Das Beste bleibt deswegen eine tiefe Curarisierung, bei der natürlich künstliche Atmung angewendet werden muss. Zwar setzt auch Curare den Blutdruck, besonders bei länger dauernden

Versuchen etwas herab, wozu noch die Wirkung der Abkühlung des regungslosen Tieres kommt. Diese Fehler sind aber einigermassen zu vermeiden, wenn man das Tier mit etwas erhöhtem Hinterkörper aufbindet und durch Einpackung in Watte für Warmhaltung sorgt. Trotzdem sinkt bei sehr lange dauerndem Versuche der Augendruck allmählich unter die Norm. Wir werden darauf an anderer Stelle zurückzukommen haben.

Ferner ist es, wie schon einleitend bemerkt wurde, ein absolutes Erfordernis aller Augendruckbestimmungen, besonders wenn man sie nur an einem Auge aufnimmt, dass man gleichzeitig den Blutdruck aufzeichnet. Es ist dies daher bei allen Versuchen geschehen, und zwar diente dazu ein Gadscher Blutwellenschreiber, der entweder mit der Karotis der andern Seite oder der Arteria femoralis in Verbindung stand. Nur wenn beide Augen nebeneinander schreiben, kann unter Umständen auf die Blutdruckregistrierung verzichtet werden, da dann das Kontroll-Auge, wie wir sehen werden, gewissermassen einen Blutdruckschreiber darstellt[1]).

Von einer Zeitschreibung habe ich Abstand genommen, da die Versuche stets bei äusserst langsamer Rotation der Trommel aufgeschrieben wurden, so dass sich aus der zur einmaligen Umdrehung der Trommel erforderlichen Zeit, die sich bei bestimmter Einstellung an dem benutzten grossen Zimmermannschen Kymographen stets gleich blieb, und dem Umfang der Trommel (50 cm) die Zeitdauer nachträglich mit ausreichender Genauigkeit bestimmen liess. In der Regel verwendete ich Umdrehungsgeschwindigkeiten von 5 bis 10 Minuten, so dass 1 dcm der Kurven 1 bis 2 Minuten entspricht.

Musste ich im Voranstehenden bei der Besprechung der immerhin ziemlich minutiösen Technik mich auch auf scheinbar unbedeutende Details einlassen, wenn anders der erstrebte Zweck erreicht werden sollte, dass der Leser durch die blosse Beschreibung in den Stand gesetzt würde, erfolgreich mit dem Apparat zu arbeiten, so kann ich mich, was die von mir befolgte Methode der Kammerwasseruntersuchung anbetrifft, um so kürzer fassen.

---

[1]) Dass die Blutdruckmessung in der einen Karotis für das andere Auge keinen Fehler bedeutet, wird aus späteren Versuchen (S. 61) hervorgehen. Selbstverständlich muss auch der Blutwellenschreiber am Schlusse der Versuche mit einem Hg-Manometer an der Kurve geeicht werden.

Wo im späteren Texte Fluorescein versuche erwähnt sind, handelt es sich stets um intravenöse Injektion von $1/2$ ccm einer 5 %igen Fluoresceinkaliumlösung (d. h. 2,5 cg) pro Kilo Tier. Die Eiweissuntersuchung wurde unter Zusatz von Esbachschem Reagens in der von mir früher[1]) beschriebenen Weise vorgenommen, und zwar dienten zum Vergleich Verdünnungen eines Kaninchenserums, dessen Eiweissgehalt vorher = 7 % bestimmt worden war. Nachdem ich nun seit Jahren immer wieder gelegentlich mit dieser Methode gearbeitet habe, habe ich mich von ihrer absoluten Zuverlässigkeit überzeugt, sobald es sich um Vergleich der Eiweissmengen beider Augen eines Tieres handelt. Wenn das Kontrollauge fehlt, kann die Methode selbstverständlich nicht sehr exakt sein, da, wie ich schon damals gezeigt habe, individuelle Schwankungen des Eiweissgehaltes zwischen 0,1 und 0,4 ‰ beim Kaninchen vorkommen. Hat man aber beide Augen zur Verfügung, und das kann in fast allen Fällen durchzuführen sein, so ist die Hämolysinmethode entbehrlich, zumal sie auch nur bei ganz hohen Graden der Immunisierung, d. h. bei sehr hohem hämolytischen Titer des Serums, wie man ihn relativ selten erhält, feiner ist, als die vergleichende Eiweissbestimmung. Nur darf man den Eiweissgehalt bei geringen Mengen nicht aus der Höhe des Sediments, sondern muss ihn aus der frisch eingetretenen Trübung beurteilen.

Versuchsresultate.

Indem ich nunmehr zur Wiedergabe der Versuchsresultate übergehe, möchte ich vorausschicken, dass es natürlich unmöglich war, alle zur Nachprüfung mit dem neuen Apparat auffordernden, oder alle sich neu stellenden Fragen in begrenzter Zeit einer Untersuchung zu unterziehen. Ich beschränke mich daher in der vorliegenden Mitteilung nur auf einen Teil der bisher erhaltenen Resultate, indem ich eine Zahl weiterer bereits in Angriff genommener und teilweise schon dem Abschluss nahe gebrachter Untersuchungen einer späteren Fortsetzung dieser Publikation vorbehalte.

I. Abhängigkeit des Augendrucks vom Blutdruck.

1. Puls und Atemschwankungen.

Das erste, was man, wie schon erwähnt wurde, bei der graphischen Registrierung beobachtet, sind die Puls- und Atemschwankungen des

[1]) v. Graefes Archiv Bd. 50.

Augendrucks. Ist der Augendruck ein normaler, so sind die Pulserhebungen stets mit vollkommener Deutlichkeit sichtbar. Ihre Grösse hängt naturgemäss von der Höhe des Augendruckes ab und zwar fand ich bei Kaninchen durchschnittlich folgendes Verhalten:

Höhe des Pulses im Kaninchenauge in mm Hg ausgedrückt

bei	einem	Augendruck	von	25	mm	Hg	Puls	von	0,4 mm
„	„	„	„	35	„	„	„	„	0,7 mm
„	„	„	„	45	„	„	„	„	1,4 mm
„	„	„	„	70	„	„	„	„	2,5 mm

Bei Drucken unter 15 mm Hg werden die Pulserhebungen unsichtbar und es markieren sich nur noch leichte Atemschwankungen. Die nachstehenden Figuren 4 und 5 illustrieren das Gesagte. Sie geben zwei Kurven in natürlicher Grösse wieder, die von 2 verschiedenen Tieren mit dem Augendruck von 25 und 45 mm Hg, aber mit der gleichen Membran und gleicher Hebelstellung aufgenommen

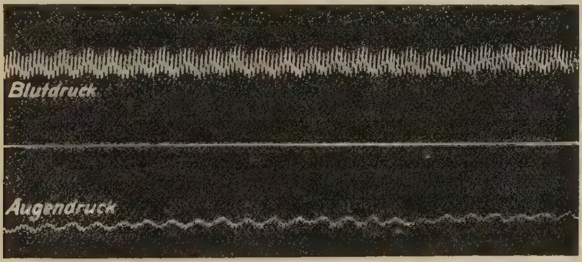

Fig. 4[1]).
Kaninchen (Curare, künstl. Atmung). Normales Auge. Augendruck 25 mm Hg. Natürl. Grösse.

sind, und zwar entsprach dabei eine lineare Erhebung der Hebelspitze um 1 cm einer Druckerhöhung um 5 mm Hg. Es muss dies in diesem Falle eigens hinzugefügt werden, da die Eichung nicht gerade auf dem reproduzierten Teil der Kurven wiedergegeben ist. Der Blutdruck wurde dabei in der Karotis der anderen Seite geschrieben.

Beobachtet man bei dieser Anordnung die Bewegungen der beiden Hebel des Blutdruck- und Augendruckschreibers — am besten geschieht dies, wenn sie nicht an der Kymographiontrommel anliegen —,

1) Alle Kurven sind auf dem Wege der Photozinkographie reproduziert.

so sieht man, dass sie nicht absolut synchron sind, sondern dass die Erhebung des Augendruckschreibers einen Bruchteil einer Sekunde später erfolgt. Es ist dies selbstverständlich, da ja das Blut, um aus dem Stamme der Karotis bis in die kleinen Arterien des Auges zu gelangen, eine gewisse Zeit braucht. Was die Atemschwankungen anbetrifft, so fallen sie sehr verschieden aus, entsprechen aber in jedem Falle den Atemschwankungen des Blutdruckes. Ihre Höhe hängt von der Ausgiebigkeit der Atemexkursionen des Thorax ab und man findet sie daher bei künstlich ventilierten Tieren stärker als bei spontan atmenden. Auch sind sie beim Kaninchen in der Regel ausgeprägter

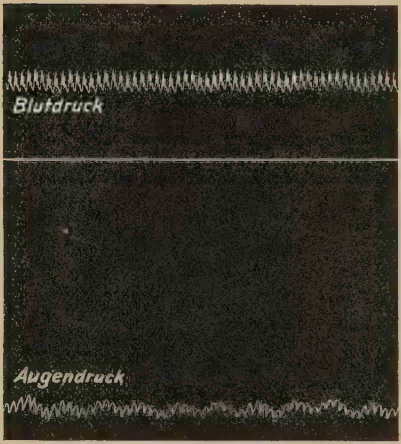

Fig. 5.
Kaninchen (Curare, künstl. Atmung). Gereiztes Auge. Augendruck 45 mm Hg. Natürl. Grösse.

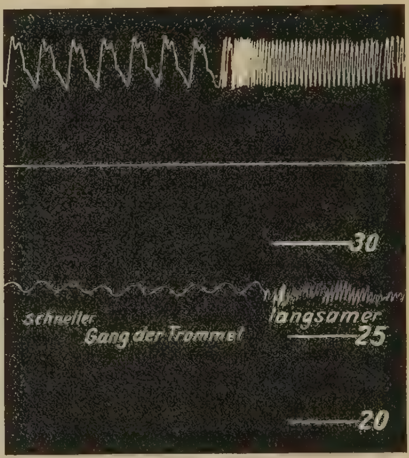

Fig. 6.
Katze (Curare, künstl. Atmung). Oben: Blutdruck in der linken Karotis. Unten: Augendruck im rechten Auge. Natürl. Grösse.

als bei der Katze. Dagegen sind die normalen Pulsschwankungen im Katzenauge höhere als im Kaninchenauge. Dies erläutert Fig. 6, in der bei 27 1/2 mm Druck die Pulse eine Höhe von etwa 1 mm Hg besitzen.

Man sieht aus dieser Kurve zugleich, dass die Augenpulse nicht die charakteristische Form des Arterienpulses mit den sekundären Elevationen aufweisen, sondern einfache Erhebungen darstellen, bei denen nicht einmal ein steilerer Verlauf im ansteigenden Schenkel zutage tritt. Ich möchte es dahin gestellt sein lassen, wie weit diese Veränderung der Pulsform nur darauf beruht, dass der Puls sich erst den

Augenflüssigkeiten innerhalb der geschlossenen Augenkapsel mitteilen muss — es sind ja eigentlich plethysmographische, d. h. Volumenskurven, die wir am Auge aufnehmen — oder wie weit auch das Prinzip der Übertragung auf die kleine Mareysche Kapsel an sich der Wiedergabe der Pulsform ungünstig ist.

Es entsteht nun die Frage: Erklärt sich die ungleiche Höhe der Augenpulse bei den verschiedenen Augendruckhöhen allein dadurch, dass bei den stärkeren Spannungen der Augenwand ein kleinerer Inhaltszuwachs genügt, um die gleiche Druckzunahme zu bewirken, oder spielt die Zunahme des Pulsvolumens in den Gefässen dabei eine Rolle? Letzteres würde man zunächst vermuten, da die vorhin wiedergegebenen Werte der verschiedenen Pulshöhen sich auf Augen bezogen, in denen die Augendrucksteigerung Folge einer natürlichen inneren Hyperämie des Auges war. Ich habe deshalb Kontrollversuche in der Weise angestellt, dass ich mittelst des Druckmanometers bei einem Kaninchen mit normalem Blut und Augendruck den Augendruck sukzessiv erhöhte, während die Schreibvorrichtung die Pulse an der Trommel weiter notierte. Es ergab sich dabei, dass die Pulse bei den entsprechenden Druckerhöhungen fast um die gleichen Werte wuchsen, wie bei natürlicher Drucksteigerung, obwohl man hätte annehmen müssen, dass durch Kompression der Gefässe ihr Pulsvolumen kleiner werden sollte. Nur bei den ganz hohen Drucken (über 50 mm Hg hinaus) war dies in eben merkbarer Weise der Fall. Es geht daraus hervor, dass, wenn bei einer inneren Hyperämie des Auges der Augendruck steigt, die Erhöhung der Pulse in erster Linie auf der Drucksteigerung an sich und nur zum kleinen Teil auf einer Zunahme des Pulsvolumens der Gefässe beruht. Damit stimmt auch überein, dass, wenn man nach der auf Seite 8 wiedergegebenen Tabelle des Verhältnisses zwischen Volumen und Druckzunahme im Kaninchenauge die Pulse für die verschiedenen Druckhöhen unter Zugrundelegung des Pulsvolumens des Auges von 25 mm Hg berechnet, man ebenfalls nur wenig kleinere Werte als in Wirklichkeit bekommt, nämlich für den Druck von 35 mm Hg eine Pulshöhe von 0,6 statt 0,7 mm und für den Druck von 45 mm eine Pulshöhe von 1,0 statt 1,4 mm Hg.

Selbstverständlich bezieht sich dies nur auf Änderungen der Blutfülle des Auges bei gleichem Blutdruck und gleichem Karotispuls. Nehmen die Karotis-, d. h. die Herzpulse, an Grösse zu, so tun dies auch die Augenpulse (vergleiche Fig. 10 Seite 33). Aber auch hier werden wir später sehen, dass keine vollständige Proportionalität besteht.

Das Gesagte gilt aber überhaupt nur von der reaktiven Hyperämie, die zu einer starken, intraokularen Drucksteigerung führt. Ein abweichendes Verhalten zeigen die Pulse, wenn es sich um Vasodilatationszustände handelt, bei denen der Augendruck nur ganz wenig steigt. Dann nehmen nämlich, wie wir bei Gelegenheit der Untersuchungen über die Wirkung der Sympathicusdurchschneidung (Seite 59) sehen werden, die Pulse erheblich an Grösse zu. Wir werden auf die Erklärung dieser merkwürdigen Verschiedenheiten an späterer Stelle zu sprechen kommen.

Es war nun von besonderer Wichtigkeit festzustellen, wie weit das Registrierverfahren an beiden Augen übereinstimmende Resultate gab, denn einmal war das der beste Prüfstein auf seine Genauigkeit, zweitens Grundbedingung für eine grosse Reihe der später anzustellenden Experimente. Ich gebe, um den hohen Grad von Zuverlässigkeit des Verfahrens zu illustrieren, zunächst zwei Ausschnitte von solchen Doppelkurven in natürlicher Grösse in Fig. 7 und Fig. 8 wieder.

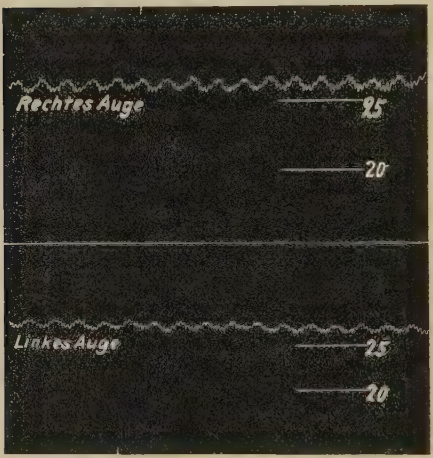

Fig. 7.
Kaninchen (Curare, künstl. Atmung).
Natürl. Grösse.

Fig. 7 zeigt die Doppelkurve eines normalen curarisierten Kaninchens. Der Augendruck ist dabei in beiden Augen fast genau gleich hoch. Doch möchte ich an dieser Stelle bereits erwähnen, dass das durchaus nicht immer der Fall ist. Abgesehen von den gelegentlichen fehlerhaften Versuchen, bei denen ein stärkerer Reizzustand in einem Auge entstand, und die eliminiert werden mussten, fand ich nämlich bisweilen Druckdifferenzen zwischen beiden Augen bis zu 4 mm Hg. Es entspricht das etwa den Werten, die auch Groenholm (10) bei vergleichenden Manometermessungen gefunden hat. Ich will dahingestellt sein lassen, ob dies wirklich normalerweise vorkommenden Differenzen entspricht, oder nicht doch eine gelegentliche Folge des Einführungsmanövers der Kanüle ist. Ich neige mehr

zu letzterer Ansicht, doch wird dadurch der Werte der Versuche wenig beeinträchtigt, da ja die Parallelität beider Kurven gewahrt bleibt.

Diese letztere erläutert besonders schön Fig. 8, die von einem Kaninchen herrührt, das sich in Opiumnarkose befand. Dabei traten erhebliche Unregelmässigkeiten der Herztätigkeit ein, die den Versuch für weiteres Experimentieren ungeeignet machten, den absoluten Parallelismus in den Pulserhebungen beider Augen aber um so charakteristischer hervortreten liessen.

Nur eines möchte ich hier noch erwähnen, dass man natürlich nicht erwarten darf, dass zwei verschiedene Gummimembranen jemals ganz die gleiche Spannung haben. Darum haben die Exkursionen an beiden Augen niemals ganz die gleiche lineare Höhe. Dies ist z. B. auch an Fig. 7 und 8 zu sehen, bei denen das eine Mal die

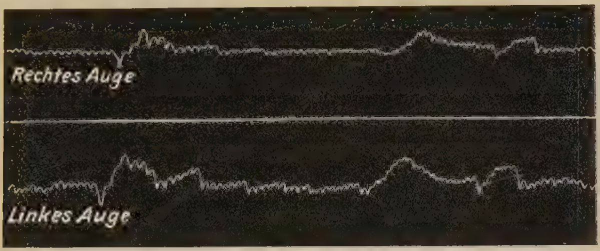

Fig. 8.
Kaninchen (Opiumnarkose) vollständiger Parallelismus der unregelmässigen Pulsschwankungen beider Augen. Natürl. Grösse.

Schreibvorrichtung des rechten, das andere Mal die des linken Auges die stärkeren Elevationen geschrieben hat. Der Brauchbarkeit der Kurven wird dadurch indessen kein Abbruch getan.

Ich glaube deshalb, dass sich der Leser schon an diesen wenigen Proben davon überzeugt haben wird, dass das Registriermanometer den Augendruck sowohl an einem wie an beiden Augen mit einer Feinheit und Zuverlässigkeit notiert, wie das wohl von keiner der bisherigen Methoden erreicht worden ist.

2. Die Erscheinungen am Augendruck bei gröberen Blutdruckänderungen sowie Analyse des Zusammenhanges zwischen beiden.

War es nach den über die Puls- und Atemschwankungen Mitgeteilten auch gar nicht anders zu erwarten, als dass sich bei anderen Blutdruck-

änderungen ebenfalls ein vollständiger Parallelismus ergeben würde — eine Tatsache, die im Prinzip ja auch von allen früheren Untersuchern festgestellt worden ist —, so war es natürlich doch von Interesse, eine Reihe einschlägiger Experimente mit dem Registriermanometer anzustellen, und in der Tat zeigte sich dabei eine Übereinstimmung der Augen- und Blutdruckkurven bis in die feinsten Details hinein, die doch selbst nach dem bereits Gesehenen überraschen musste. Als ganz beliebiges Beispiel ist ein kleiner Kurvenausschnitt (Fig. 9) zur Reproduktion gewählt worden. Er rührt von einem curarisierten Kaninchen mit einem Augendruck von 26 mm Hg her. Es ist eine häufige Erscheinung bei curarisierten Tieren, dass sie auf sensible Reize, besonders z. B. auf Windzug (Anblasen), aber auch auf akustische

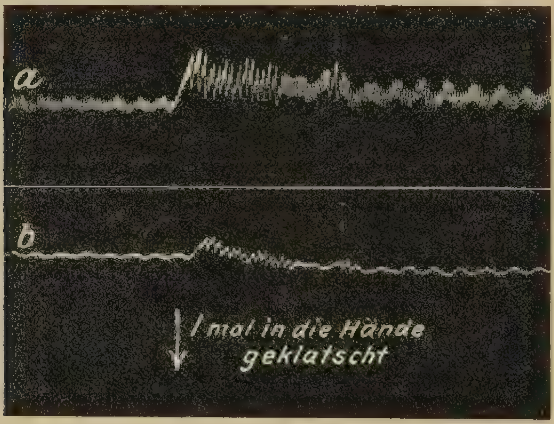

Fig. 9.
Kaninchen (Curare, künstl. Atmung). a Blutdruck 120 mm, b Augendruck 26 mm. Natürl. Grösse.

Reize mit einer mehr oder minder starken Erhöhung des Blutdruckes reagieren. Im vorliegenden Falle handelte es sich um einen Gehörsreiz, der darin bestand, dass einmal in die Hände geklatscht worden war. Wie man aus der Kurve ersieht, machte dabei der Augendruck jede Zacke des Blutdruckes mit geradezu photographischer Treue mit.

Derartige Schwankungen des Blutdruckes kommen nun gelegentlich auch spontan beim curarisierten Tier vor, oder scheinbar spontan, indem uns der auf das Tier wirkende sensible Reiz entgeht. Es erhellt daraus die besondere Wichtigkeit, die der gleichzeitigen

Blutdruckregistrierung bei allen Augendruckversuchen zukommt. Denn bei ihrer Ausserachtlassung kann man den grössten Irrtümern ausgesetzt sein, indem man für Wirkung irgend eines Eingriffs auf das Auge hält, was ein zufälliges Zusammentreffen mit einer Blutdruckänderung ist.

Des weiteren konnte ich die vollständige Übereinstimmung zwischen Augen- und Blutdrucksteigerungen bei Kompression der Bauchaorta sowie bei eintretender Asphyxie (Unterbrechung der künstlichen Atmung) beobachten. Diese Beispiele liessen sich um eine ganze Reihe weiterer vermehren, doch würde hierbei wenig gewonnen werden, denn, wenn das Auge nicht als solches direkt durch den Versuch mit betroffen wird, wie bei bestimmten Nervenreizen oder Medikamenten, auf die wir in den nächsten Abschnitten näher zu sprechen kommen werden, macht es eben sämtliche Änderungen des Blutdruckes mit.

Lohnender schien es mir, den Versuch zu machen, an der Hand der Kurven eine feinere Analyse des Zusammenhanges zwischen Augen- und Blutdruck zu gewinnen.

Zu diesem Zwecke wählte ich eine Reihe der oben erwähnten spontan an curarisierten Kaninchen, sowie der nach Bauchaortakompression zur Beobachtung kommenden Blutdrucksteigerungen und zwar bei möglichst verschiedener Augendruckhöhe. Bei den Tieren mit abnorm niedrigem Augendruck beruhte dieser Zustand auf einer bereits längeren Dauer der Curarewirkung, bei abnorm hohem Druck handelte es sich um Reizzustände, also um innere Hyperämie des Auges.

19 derartige Blutdruckschwankungen sind nach ihren Eichungswerten in der umstehenden Tabelle wiedergegeben. Daneben sind die gleichzeitigen Augendrucksteigerungen ebenfalls in genauen Hg-Millimeterwerten aufgeführt, und zwar ist der grösseren Übersichtlichkeit wegen die Reihe der Versuche so geordnet, dass sie mit den niedrigsten Augendruckhöhen beginnt und zu den höheren ansteigt. Es musste nun zunächst festgestellt werden, ob die Augendrucksteigerung zur Blutdrucksteigerung in gleichem Verhältnis steht, d. h. ob, wenn der Blutdruck um einen bestimmten Bruchteil seiner ursprünglichen Höhe steigt, der Augendruck um den gleichen Bruchteil seines Anfangswertes zunimmt. Es sind deshalb in der 3. und 4. Kolumne der Tabelle die jedesmaligen prozentuellen Steigerungen sowohl für den Blutdruck wie für den Augendruck eingetragen. Aus diesen beiden Reihen geht auf den ersten Blick hervor, dass eine vollständige Proprotionalität zwischen

Augen- und Blutdruckänderungen nicht besteht, d. h. die ersteren bleiben prozentualiter stets hinter den letzteren mehr oder minder zurück.

Wirkung spontaner Blutdrucksteigerungen auf den Augendruck am curarisierten Kaninchen.

	Der Blutdruck steigt von — bis in mm Hg	Der Augendruck steigt von — bis in mm Hg	Der Blutdruck steigt um %	Der Augendruck steigt um %
1	125—145	16½—18	16	9
2	120—160	22 —26	33	18
3	140—200	22 —27	43	23
4	100—110	25 —27	10	8
5	120—150	25 —27½	25	10
6	120—140	25 —28½	16½	14
7	120—150	30 —33	25	10
8	110—150	37½—42	36	13
9	120—140	45 —50	16½	11
10	120—160	47 —53	33	13
11	120—180	48 —57	50	19

Wirkung der Kompression der Bauchaorte auf Blutdruck und Augendruck am curarisierten Kaninchen.

1	95—125	26 —23	31½	23
2	130—195	26½—37	50	40
3	120-170	30 —40	41½	33⅓
4	120—180	30 —41	50	37
5	115—135	33 —37½	17½	13½
6	120—155	40 —47	29	17½
7	110—150	45½—55	36½	20½
8	140—160	50 —53½	14	7

Dies ist an sich verständlich, da ja der Augendruck nicht nur vom Blutdruck bestritten wird, sondern z. T. auch auf dem im Auge befindlichen Quantum intraokularer Flüssigkeiten beruht. Diesen Anteil kennen wir aber, denn wir wissen, dass im Momente des Todes der Augendruck beim Kaninchen auf zirka 8 mm sinkt, so dass also 8 mm Hg auf Rechnung der Flüssigkeitsspannung im Auge zu setzen sind. Aber selbst wenn wir diesen Betrag in Abrechnung bringen, bleibt die gekennzeichnete Disproportionalität zwischen Augen- und Blutdruck wenigstens für die meisten Fälle bestehen. Ich glaube, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass überhaupt in dem Arteriensystem von den grossen zu den kleinen Arterien — und mit letzteren haben

wir ja im Auge ausschliesslich zu rechnen — infolge der Elastizität der Wandungen eine Abnahme nicht nur der absoluten, sondern auch der relativen Höhe der Blutdruckschwankungen statthat. Von den Kapillaren gilt dies ja sicher, da in ihnen auf dem Wege zu den Venen die Puls- und anderen Schwankungen des Blutdruckes verschwinden. Für kleine Arterien von dem Kaliber, wie sie ins Auge eintreten, haben aber m. W. derartige proportionale Blutdruckmessungen noch nicht ausgeführt werden können, und es können daher die Augendruckuntersuchungen vielleicht geeignet sein, auch zu dieser rein physiologischen Frage einen Beitrag zu liefern[1]).

Wir ersehen aber noch etwas Weiteres aus den Tabellenwerten, was für uns Ophthalmologen von mehr Bedeutung ist. Vergleichen wir nämlich die Disproportionalität zwischen den relativen, d. h. prozentuellen Werten der Augen- und Blutdrucksteigerung bei den verschiedenen Augendruckhöhen, so sehen wir, dass abgesehen von einigen Unregelmässigkeiten eine Verschiebung dieser Disproportionalität in der Richtung besteht, dass sie bei den niedrigen Augendruckhöhen verhältnismässig gering ist, und bei den hohen Augendrucken immer mehr an Grösse zunimmt.

Da dies indessen wegen der erwähnten Unregelmässigkeiten vielleicht noch nicht mit genügender Deutlichkeit aus den Zahlen der Tabelle hervorgeht, habe ich noch folgende für diese Frage entscheidenderen Versuche angestellt. Es wurde an Kaninchen an einem Auge ein Reizzustand und damit eine innere Hyperämie erzeugt, sodass der Druck in diesem Auge langsam anstieg. Von Zeit zu Zeit wurde dann eine Blutdruckerhöhung durch Kompression der Bauchaorta hervorgerufen, die, wie die nachstehende kleine Tabelle zeigt, am Auge mit niederem Druck stets eine prozentuell höhere Drucksteigerung hervorrief als am anderen Auge mit hohem Druck.

---

1) Selbstverständlich würde hierzu eine viel grössere Zahl von Bestimmungen erforderlich sein, auch würde die Messung mit dem Gadschen Blutwellenschreiber kaum ausreichen. Auf die nicht genügend feine Schätzung der absoluten Blutdruckhöhe mit diesem Instrument (trotz nachträglicher Eichung mit dem Quecksilbermanometer) schiebe ich auch die Differenzen, die swischen den einzelnen von mir gefundenen Werten hinsichtlich des zahlenmässigen Abhängigkeitsverhältnisses des Augendrucks vom Blutdruck vorliegen. Für die uns beschäftigenden Fragen war indessen die Methode von genügender Genauigkeit und hatte den Vorzug grösserer Bequemlichkeit vor Manometermessungen voraus.

Gleichzeitige Wirkung der Kompression der Bauchaorta auf den Augendruck beider Augen von Kaninchen bei von vornherein verschiedener Höhe des Augendrucks.

Rechtes Auge normal. — Linkes Auge in verschiedengradigem Zustande innerer Hyperämie (subconj. NaCl-Injekt.).

		Rechtes Auge		Linkes Auge	
		Der Augendruck steigt von — bis in mm Hg	Der Augendruck steigt um % seiner ursprgl Höhe	Der Augendruck steigt von — bis in mm Hg	Der Augendruck steigt um % seiner ursprgl. Höhe
1	Kompression der Aorta abdominalis	23—25	8,7	24—26	8,3
	„	21—24	14,3	33—37	12,1
	„	20—26	30,0	41—47	14,6
	„	17—21	23,5	49—54	10,2
	„	15—20	33,3	38—45	18,4
	„	15—18	20,0	38—40	5,0
2	„	25—32½	30	36—43	19,9
	„	25—38	52	36—48½	37,5
	„	27—45	61,6	37—52	40,5

Wir sehen also: **Bei ein und derselben gegebenen Blutdrucksteigerung nimmt der Augendruck relativ stärker zu, wenn er anfänglich niedrig, als wenn er bereits hoch war.** Das ist eigentlich das Gegenteil von dem, was man theoretisch zunächst erwarten sollte. Denn da bei hohem Augendruck der gleiche Inhaltszuwachs den Druck nicht nur absolut, sondern auch relativ stärker anwachsen lässt, als bei niedrigerem Augendruck, und da in den zu den Versuchen gewählten Fällen die abnorme Augendruckhöhe grossenteils auf einer Erweiterung der intraokularen Gefässe beruhte, so hätte angenommen werden müssen, dass sich an diesen hyperämischen Augen mit hohem Druck Blutdruckänderungen verhältnismässig viel stärker markieren würden, als an anämischen weichen Augen. Dies ist aber tatsächlich nicht der Fall, und wir können, wenn wir wollen, in diesem Verhalten gewissermassen eine Schutzmassregel erblicken, durch die das Auge bei an sich schon hohem Druck, vor weiteren allzu bedrohlichen Drucksteigerungen bewahrt wird. Was die Erklärung dieser Erscheinung anbetrifft, so wird am nächsten liegen, anzunehmen, dass der Gegendruck der intraokularen Flüssigkeiten eine zunehmende Kompression der inneren Augengefässe

verursacht, und dadurch der intravaskulären Drucksteigerung und der Gefässerweiterung entgegenwirkt.

Es lag nun nahe, in anologer Weise auch das Verhalten des Augendruckes bei Blutdrucksenkungen zu untersuchen und zwar wählte ich hierzu das Experiment der Vagusreizung, da mir dasselbe die übersichtlichsten und geeignetsten Kurven zu geben schien.

Ein Beispiel einer solchen Vaguswirkung ist in Fig. 10 wiedergegeben.

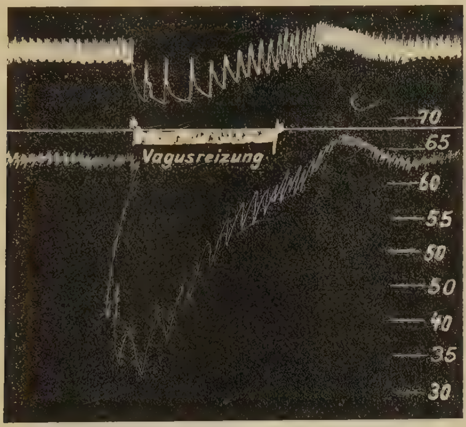

Fig. 10.
Kaninchen (Urethannarkose). Gereiztes Auge. Einwirkung der Vagusreizung auf Blutdruck (oben) und Augendruck (unten). Natürl. Grösse.

Man sieht an ihr wieder die vollständige Parallelität zwischen der Blut- und Augendruckkurve, sowohl was den diastolischen Herzstillstand und die mit ihm verknüpfte Blutdrucksenkung, als die darauf folgenden charakteristischen langsamen hohen „Vaguspulse“ anbetrifft.

Solche Versuche habe ich nun ebenfalls in grösserer Zahl an Kaninchen, Katzen und Hunden bei den verschiedensten Augendruckhöhen angestellt und das Resultat in nachfolgender Tabelle (Seite 34) niedergelegt.

Auch in ihr sind in der ersten und zweiten Spalte die absoluten Druckerniedrigungen in mm Hg, in der dritten und vierten die relativen Werte, d. h. die Prozentzahlen verzeichnet, um die der Blut- und Augendruck von seiner ursprünglichen Höhe gefallen ist.

Wirkung der Blutdrucksenkung bei Vagusreizung auf den Augendruck (am curarisierten Tier).

	Versuchstier	Der Blutdruck sinkt von — bis in mm Hg	Der Augendruck sinkt von — bis in mm Hg	Der Blutdruck fällt um % der ursprünglichen Höhe	Der Augendruck fällt um % der ursprünglichen Höhe
1	Kaninchen	130–30	18–15	77	17
2	„	120–20	23–16	83½	30
3	„	130–40	23–17½	70	24
4	„	120–60	46–40	50	13
5	„	130–20	43–33	85	24
6	„	130–30	65–40	77	38
7	„	125–50	63–33	60	48
8	„	120–45	67–57	64½	15
9	„	120–25	73–47	79	35½
10	„	120–25	72–48	79	34
11	„	120–25	77–38	79	51
12	Katze	130–40	20–15	70	25
13	„	180–100	28–23	45	18
14	„	140–50	21–16	64	24
15	„	140–45	20–17	68	15
16	Hund	160–30	25–17	81	32
17	„	150–35	23–18	77	22
18	„	150–30	25–18	80	28

Es macht sich dabei wieder die gleiche Disproportionalität zwischen Blutdruck und Augendruck geltend, indem die Senkungen des letzteren stets verhältnismässig kleiner sind als die des ersteren, und zwar gilt dies hier ebenfalls nach Abrechnung des auf die Augenflüssigkeiten fallenden Anteils des Augendruckes. Es handelt sich also um ganz das gleiche Verhalten wie bei den Drucksteigerungen, d. h. der Augendruck beteiligt sich nach beiden Richtungen hin an den Schwankungen in geringerem Umfange, und es gelten für dieses Verhalten hier wie dort die gleichen Erklärungen. Ganz anders ist aber das Ergebnis, wenn wir nun bei den Druckschwankungen analog zu unserem früheren Verfahren das Verhältnis der Disproportionalität der Blut- und Augendruckexkursionen zur anfänglichen Augendruckhöhe bestimmen. Hier zeigt sich nämlich, dass, wiederum abgesehen von einigen Unregelmässigkeiten, die Verschiebung in der Richtung vor sich geht, dass die Disproportionalität bei hohem Augendruck geringer, bei niedrigem stärker wird. Auch hier zeigen das deutlicher folgende zwei Versuche an Tieren mit verschieden hohem Druck an beiden Augen:

Gleichzeitige Wirkung des Vagusreizung auf den Augendruck beider Augen von Kaninchen, bei von vornherein verschiedener Höhe des Augendrucks.

Rechtes Auge normal. — Linkes Auge in verschiedengradigem Zustande innerer Hyperaemie (Subconj. Na-Cl. Inj.)

	Rechtes Auge		Linkes Auge	
	Der Augendruck fällt von — bis in mm Hg	Der Augendruck fällt um % seiner ursprüngl. Höhe	Der Augendruck fällt von — bis in mm Hg	Der Augendruck fällt um % seiner ursprüngl. Höhe
1. Vagusreizung	20—14½	27,5	41—21	48
2. „	17—13½	20,0	51—28	44

Bei ein und derselben gegebenen Blutdrucksenkung fällt also der Augendruck relativ stärker, wenn er anfänglich hoch, als wenn er niedrig war. Es liegt demnach gerade das umgekehrte Phänomen wie bei der Blutdrucksteigerung vor, und auch hier können wir, wenn wir wollen, in diesem Verhalten wiederum eine gewisse Schutzeinrichtung erblicken, die das Auge vor den äussersten Extremen der Druckerniedrigung bewahrt. Dem theoretischen Verständnis macht diese Erscheinung natürlich keine Schwierigkeiten.

Anlässlich dieser Versuche möchte ich auch gleich die Experimente der Vagusdurchschneidungen erwähnen, zumal an ihnen eine weitere Seite des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Augen- und Blutdruck zur Beobachtung gelangt. Ein Beispiel einer solchen Vagusdurchschneidung ist in Fig. 11 reproduziert.

Man erkennt daran die typische Zunahme der Pulsfrequenz und der Blutdruckhöhe nach der Durchschneidung und sieht, wie der Augendruck diese Erscheinungen zunächst einfach mitmacht[1]). Dann aber folgt ein eigentümliches Phänomen, das ich zwar nicht immer, aber mehrfach nach Vagusdurchschneidungen beobachten konnte, und zwar meist dann, wenn Reizungen des Nerven voraufgegangen waren, wie dies auch im Beispiel der Fig. 11 der Fall war. Es besteht in einer

1) Auch die Höhe der einzelnen Pulse nimmt zu, so traten z. B. bei einer Katze nach Vagusdurchschneidung bei einem Augendruck von 28 mm Hg Pulse von 3 mm Höhe auf.

langsam zunehmenden weiteren Steigerung des Augendruckes, während der Blutdruck sich auf gleicher Höhe hält. Ich habe diese Erscheinung noch in folgenden Versuchen in ausgeprägter Weise eintreten sehen:

Versuchstier	Der Blutdruck in der Carotis steigt von — bis in mm Hg	Der Augendruck steigt anfänglich nachträglich von — bis — bis
Kaninchen . . .	120—140	65—72—77
Katze	150—185	25—28—31
Katze	150—175	31—35—37½

Wie gesagt, habe ich diese nachträgliche Steigerung aber auch wiederholt vermisst. Ihre Erklärung bereitet gewisse Schwierigkeiten, da wir sonst ein derartiges Verhalten bei reinen Blutdrucksteigerungen nicht beobachten. Nur bei längerer Kompression der Bauchaorta sah

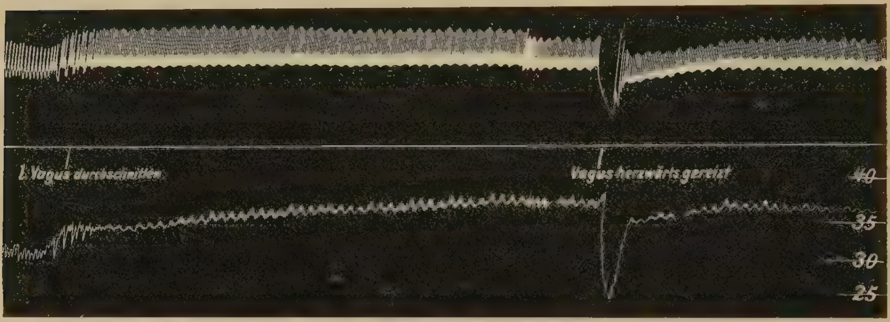

Fig. 11.
Kaninchen (Curare) Wirkung der Vagusdurchschneidung auf Blutdruck (oben) und Augendruck (unten).

ich etwas ähnliches. Am ehesten liess der geradlinige Anstieg der Kurve in Zusammenhalt mit den später mitzuteilenden Untersuchungsresultaten über Einwirkung von Reizen vermuten, dass es sich dabei gleichzeitig um eine zunehmende innere Hyperämie des Auges handele. Es war in diesem Falle dann anzunehmen, dass sich auch eine Eiweissvermehrung im Kammerwasser finden würde. Ich habe deshalb eine Reihe von Versuchen derart angestellt, dass ich Kaninchen beide Vagi freilegte, darauf das Kammerwasser des einen Auges entnahm und nun entweder nach voraufgegangener Reizung der Nerven oder ohne dieselbe beide Vagi durchschnitt. $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde später wurde das Kammerwasser des zweiten Auges entnommen und in beiden Proben der Eiweissgehalt

bestimmt. Es ergab sich dabei, dass von vier Tieren ohne vorherige Vagusreizung eines, von drei Tieren mit vorangegangener Nervenreizung zwei eine eben merkbare Eiweissvermehrung nach der Vagusdurchschneidung zeigten. Da diese Vermehrung aber an der Grenze des sicheren Nachweises lag, habe ich noch stärkere Blutdruckänderungen auf das Auge einwirken lassen. Zu diesem Zwecke legte ich bei Kaninchen in tiefer Äthernarkose die Aorta descendens frei, wobei durch Eröffnung der Bauchhöhle eine enorme Erweiterung der Intestinalgefässe und hierdurch unzweifelhaft eine starke Blutdrucksenkung eintritt. Jetzt wurde das Kammerwasser des einen Auges entnommen. Darauf unterband ich die Aorta descendens und schloss die Bauchwunde. Nach 15—30 Minuten wurde das zweite Auge punktiert und es zeigte sich in der Tat bei diesem allerdings wohl stärkstmöglichen Eingriff auf den Blutdruck eine deutliche Eiweissvermehrung bis zu 0,6 und 0,8 ‰. Selbstverständlich ist ein solcher Versuch kein ganz reiner mehr, da wir nicht wissen, ob nicht durch den Eingriff noch irgendwelche besondere vasomotorische Reflexe auf die Gefässe des Auges ausgeübt werden. Aber jedenfalls können wir sagen, dass, wenn überhaupt Schwankungen der Blutdruckhöhe an sich die qualitative Beschaffenheit des Kammerwassers verändern, hierzu die denkbar stärksten Blutdruckexkursionen erforderlich sind. Dieses Ergebnis scheint mir immerhin nicht ganz ohne Wichtigkeit zu sein in Hinblick auf die Hypothese, die in der Vermehrung des Eiweissgehaltes eine der Ursachen des Glaukoms sehen will.

Ich möchte dabei, indem ich denjenigen Abschnitt meiner Untersuchungen beschliesse, der sich mit der reinen Abhängigkeit des Augendruckes vom Blutdruck beschäftigt, nicht unterlassen, nochmals zu betonen, dass, wenn wir auch einen gewissen Schutz des Auges vor zu umfangreichen Alterationen durch den Blutdruck kennen gelernt haben, seine Abhängigkeit vom Blutdruck überhaupt, die ja auch früher bekannt war, durch die vorstehenden Untersuchungen aufs neue bestätigt worden ist. Es könnten daher meines Erachtens die Blutdrucksteigerungen, wie sie bei psychischen Aufregungen vorübergehend, bei Arteriosklerose und anderen Allgemeinstörungen dauernd vorkommen, für die Ätiologie des Glaukoms vielleicht im Sinne eines auslösenden Momentes doch eine gewisse Bedeutung haben. Diejenige Theorie, die das Glaukom auf eine Blutdruckerniedrigung zurückführt, bedarf dem gegenüber wohl keiner besonderen Widerlegung.

Ich wende mich nun zur Untersuchung solcher Eingriffe, die

nicht nur eine Veränderung des allgemeinen Blutdruckes, sondern auch lokale Zirkulationsänderungen im Auge bedingen und beginne mit der

II. Wirkung der intravenösen Adrenalin-Injektionen auf den Augendruck.

In früheren Publikationen[1]) konnte ich mitteilen, dass subkonjunktivale Injektion schwacher ($^1/_{10}$—1 ‰ iger), sowie Instillation starker (1 %iger) Lösungen von Adrenalin neben einer Mydriasis durch Dilatatorreizung eine lokale Vasokonstriktion im Auge hervorruft, die eine Verminderung der Kammerwasserproduktion und eine Druckherabsetzung von 4—5 mm Hg im Vergleich zum Kontrollauge zur Folge hat. Die Druckherabsetzung war damals mit Hilfe eines Differentialmanometers gemessen worden, und ich möchte, obwohl das Nähere erst bei Gelegenheit der Wirkung der Mydriaca und Miotica mitgeteilt werden soll, hier gleich erwähnen, dass ich dieses Resultat auch bei Aufnahme von Doppelkurven an beiden Augen bestätigt gefunden habe.

Es war nun von Interesse, zu untersuchen, wie sich der Augendruck bei intravenöser Applikation des Adrenalins verhalten würde, da bekanntlich das Mittel bei dieser Anwendungsart eine hochgradige Blutdrucksteigerung hervorruft, somit ein Wettstreit der beiden entgegengerichteten Wirkungen, der lokalen druckerniedrigenden und der allgemeinen druckerhöhenden, am Auge zu erwarten war. Derartige Untersuchungen sind nun inzwischen bereits von Henderson und Starling (20) sowie von Kahn (25) vorgenommen worden. Ihre Resultate widersprechen sich aber, da die ersteren Autoren mehrfach eine Augendruckabnahme, der letztere stets eine Augendrucksteigerung beobachten konnte. Ich habe deshalb eine grosse Reihe solcher Versuche angestellt, zumal auch ich anfänglich so widersprechende Resultate erhielt, dass ihre Entwirrung erst nach vielfältigen Wiederholungen möglich wurde.

Die Resultate habe ich in Form einer Tabelle auf Seite 43/44 niedergelegt. Um sie verständlich zu machen, ist es aber erforderlich, erst auf die verschiedenen Grundtypen der Adrenalinkurven einzugehen, denn wie gesagt, gestaltet sich die Wirkung der Nebennierensubstanz

[1]) Bericht über die 28. Versammlung der ophthal. Gesellsch. zu Heidelberg 1901 und Zeitschr. f. Augenheilk. Bd. XIII.

auf das Auge so wechselnd, dass wir nicht weniger wie 3 ganz verschiedene Kurvenformen und zwei Abarten derselben unterscheiden können. Auch erhalten wir bei Katzen wesentlich andere Bilder als beim Kaninchen, und beim Hund wieder andere als bei der Katze.

Was zunächst die Veränderung des Blutdruckes anbetrifft, so ist sie bei Kaninchen eine absolut typische. Etwa 10 Sekunden nach der intravenösen Injektion beginnt bereits der Blutdruck zu steigen und zwar ist der Anstieg der Kurve ein ziemlich steiler, so dass nach ebenfalls wenigen Sekunden die höchste Höhe erreicht ist. Dann folgt ein ganz gleichmässiger langsamer Abfall und schliesslich ein Sinken unter die ursprüngliche Höhe, wobei sehr häufig eine erhebliche Vergrösserung der einzelnen Pulse zu konstatieren ist. Was die Dosierung des Adrenalins anbetrifft, so wechselte ich zwischen $^1/_{50}$ und $^1/_5$ mg, nur einmal ging ich bis zu $^1/_2$ mg hinauf, wobei das Tier aber nach Abfall der Blutdrucksteigerung starb. Die Stärke der Blutdrucksteigerung wechselt, wie aus den Zahlen der Tabelle hervorgeht, zwischen 20 und 100 % der ursprünglichen Blutdruckhöhe. Ich habe dabei den Eindruck gewonnen, dass die Grösse der Dosis — innerhalb der genannten Grenzen — weniger auf die Stärke, als auf die Dauer der Blutdrucksteigerung von Einfluss ist, und zwar währte es bei Kaninchen 3 bis 8 Minuten, bis die ursprüngliche Höhe des Blutdruckes wieder erreicht war. Bei Katzen und Hunden fand ich bei den aus der Tabelle ersichtlichen Adrenalinmengen die Dauer der Blutdrucksteigerung in der Regel wesentlich kürzer, nämlich 2 bis 4 Minuten.

Was den Augendruck anbetrifft, so möchte ich zunächst die Erscheinungen am Kaninchen für sich besprechen. Die hier zur Beobachtung kommenden 3 Haupttypen sind in je einem charakteristischen Beispiel in Fig 12—14 wiedergegeben.

Der erste (Fig. 12) ist dadurch charakterisiert, dass ein vollständiger Parallelismus zwischen Augendruck- und Blutdruckkurve besteht, sodass von einer besonderen lokalen Wirkung am Auge überhaupt nichts in Erscheinung tritt, sondern der Augendruck die durch das Adrenalin bedingte Blutdruckänderung einfach passiv wie jede spontane Blutdrucksteigerung mitmacht.

Das ganze Gegenteil zeigt der zweite Typus (Fig. 13). Hier ist nicht nur im ersten Moment nach der Injektion eine deutliche Senkung des Augendruckes zu beobachten, sondern auch weiterhin nimmt derselbe langsam ab, während der Blutdruck die charakteristische Steigerung aufweist.

Fig. 12.

Kaninchen (Curare) oben Blutdruck in der rechten Karotis, unten Augendruck im linken Auge. Vollständiger Parallelismus. $^1/_2$ natürl. Grösse.

Fig. 14.

Kaninchen (Curare) oben Blutdruck in der rechten Karotis, unten Augendruck im linken Auge. Verspätete vom Blutdruck unabhängige starke Augendrucksteigerung. $^2/_5$ natürl. Grösse.

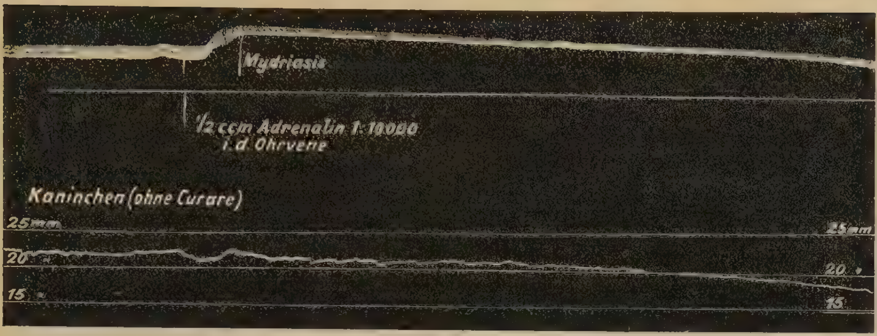

Fig. 13.
Oben Blutdruck in der rechten Karotis, unten Augendruck im linken Auge. Ausschliessliches Sinken des Augendruckes. ½ natürl. Grösse.

Der dritte Typus endlich (Fig. 14) zeigt anfangs eine unbedeutende, zum Blutdruck parallele Erhebung, dann aber setzt etwa eine Minute später, während der Blutdruck schon zu sinken beginnt, eine weitere langsam bis zu sehr beträchtlicher Höhe ansteigende Druckzunahme ein, die so langsam abklingt, dass, wenn der Blutdruck seinen alten Stand erreicht hat, dies im Auge noch nicht der Fall ist.

Neben diesen 3 Haupttypen kommen nun noch zwei weitere Kurvenbilder zur Beobachtung, die augenscheinlich durch Kombination der ersteren zustande kommen. Die eine dieser beiden Formen besteht darin, dass der Augendruck zwar anfangs in ausgesprochener Weise parallel zum Blutdruck ansteigt, dann aber, während dieser schon abzusinken beginnt, in lang geschweifter Kurve, ohne dass sich ein Absatz wie in Fig. 14 geltend macht, weiter wächst und später ebenfalls langsamer seine ursprüngliche Höhe erreicht. Es ist dieses Bild ungezwungen durch eine Kombinierung des Typus I und III zu erklären, zumal die Verschiebung des Gipfels der Kurven hier auch meist gerade 1 Minute beträgt. Die zweite Unterform ist durch anfängliche Parallelität und darauf folgendes verfrühtes Sinken charakterisiert, d. h. der Augendruck erreicht seine ursprüngliche Höhe viel früher als der Blutdruck, was auf Zusammenwirkung der den Typus I und II bedingenden Momente zurückzuführen ist.

Nach diesen 3 Haupttypen mit den Unterformen Ia und Ib sind nun sämtliche Versuche (27 an Kaninchen, 5 an Katzen und 2 an Hunden) in der nachstehenden Tabelle in verschiedenen Kolumnen

eingetragen. Die Reihenfolge ist dabei so gewählt, dass die Versuche mit niedrigster Adrenalindosis den Anfang machen und von da zu den höheren Dosen vorgeschritten wird. Ausser Narkosenform und Injektionsort ist erstens die Grösse der Blutdruck- sowie der Augendrucksteigerung in absoluten Werten (mm Hg), zweitens aber auch ihre relative (prozentuale) Höhe im Vergleich zum ursprünglichen Druck eingetragen. Aus diesen beiden letzten Zahlenreihen ersieht man nun sofort, dass bei dem Typus I, d. h. bei dem parallelen Verlauf, die relative Augendrucksteigerung hinter der Blutdrucksteigerung stets erheblich zurückbleibt, in derselben Weise, wie wir dies früher bei den spontanen reinen Blutdrucksteigerungen gesehen haben. Dagegen pflegt die dem Typus III zukommende Augendrucksteigerung die Blutdruckerhöhung prozentualiter erheblich zu übertreffen. Als ein besonders charakteristisches Beispiel sei auf Kaninchen 12 verwiesen, bei dem der Blutdruck nur um 50%, der Augendruck um 220% wuchs. Hieraus geht mit Sicherheit hervor, dass die nachträgliche Augendrucksteigerung nichts mit dem Blutdruck zu tun hat, denn sie lässt sich weder ihrem Verlauf, noch ihrer Grösse nach mit ihm in Verbindung bringen. Ein ähnliches prozentuelles Missverhältnis finden wir nun auch häufig in der Reihe Ia, was für die schon vorher geäusserte Auffassung spricht, dass dieser Typus eine Kombination von I und III ist. Jedenfalls finden wir bei Ia durchschnittlich viel stärkere Augendrucksteigerungen als bei I. Ferner ist aus der Tabelle zu ersehen, dass der Typus III stets nur bei der erstmaligen Einspritzung von Adrenalin, aber niemals bei einer Wiederholung am selben Tier auftritt. Das gleiche gilt auch (mit einer einzigen Ausnahme bei Kaninchen 5) von Typus Ia.

Dies alles spricht dafür, dass wir es bei dieser Augendruckzunahme mit einer ganz besonderen Erscheinung zu tun haben, und ich glaube, dass wir sie am ehesten auf eine Kontraktion der glatten Orbitalmuskulatur zurückführen können. Tritt doch bei der intravenösen Adrenalininjektion eine Kontraktion aller vom Sympathikus innervierten Muskeln ein, die sich in Form einer Protrusio bulbi, Lidspaltenerweiterung, Retraktion der Membrana nictitans und Pupillenerweiterung geltend macht. Für eine solche Kompression des Auges durch Kontraktion der glatten Orbitalmuskulatur spricht auch der eigentümliche langgestreckte Verlauf der Kurve. Dass sie nicht immer zur Beobachtung kommt, hat nichts Auffälliges, da auch die Protrusio bulbi bei den einzelnen Kaninchen eine sehr verschiedengra-

Wirkung der intravenösen Adrenalininjektionen auf Blut- und Augendruck.

	Tier	Art der Narkose	Menge des injizierten Adrenalins in mg	Ort der Injektion	Blutdrucksteigerung von — bis in mm Hg	Augendruckänderungen von — bis in mm Hg: Typus I parallele Steigerung	Ia langsameres Ansteigen und Absinken	Ib verfrühtes Absinken	II ausschliessliche Steigerung	III späte unabhängige Steigerung	Der Blutdruck steigt um % seiner ursprünglichen Höhe	Der Augendruck steigt um % seiner ursprünglichen Höhe
1	Kaninchen	Curare	1/50	Ohrvene	130—170	—	20—22	—	—	—	30	10
2	Kaninchen	Curare	1/50	„	130—190	—	17—22	—	—	—	46	30
3	Kaninchen	Curare	1/50	„	100—160	13—15	—	—	—	—	60	14
4	Kaninchen	Curare	1/20	„	130—170	16—20	—	—	—	—	30	25
5	Kaninchen	Curare	1/20	„	130—190	—	28—35	—	—	—	46	25
			1/20	„	100—190	—	23—40	—	—	—	90	74
6	Kaninchen	Curare	1/20	„	120—150	—	16—17	—	—	—	25	6
7	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	100—160	21—26	—	—	—	—	60	24
8	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	120—180	20—23	—	—	—	—	50	15
9	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	100—150	—	13—17	—	—	—	50	30
10	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	120—170	—	21—27	—	—	—	42	29
11	Kaninchen	ohne Narkose	1/50	Ohrvene	130—160	—	—	—	22—20	—	23	—
			1/20	„	130—170	20—23	—	—	—	—	30	15
			1/10	„	125—180	19—26	—	—	—	—	44	37
12	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	120—160	—	—	—	—	15—48	33	220
			1/20	V. jugularis	100—150	16—22	—	—	—	—	50	37
13	Kaninchen	Curare	1/20	Ohrvene	120—200	—	—	—	—	23—20—34	66	48
			1/20	„	100—150	23—25	—	—	—	—	50	9
14	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	100—180	—	—	—	—	18—35	80	94
			1/20	Ohrvene	80—160	18—24	—	—	—	—	100	33
15	Kaninchen	Curare	1/20	V. jugularis	100—170	—	—	—	—	15—43	70	186
16	Kaninchen	Curare	1/20	Ohrvene	130—170	—	—	—	28—24	—	30	—
17	Kaninchen	ohne Narkose	1/20	„	130—200	—	—	—	22—20	—	54	—
18	Kaninchen	Curare	1/20	„	120—190	—	—	50—54—45	—	—	58	8
19	Kaninchen	Curare	1/20	„	110—150	50—60	—	—	—	—	36	20
			1/20	„	130—220	33—40	—	—	—	—	70	21
20	Kaninchen	Urethan	1/20	„	120—200	—	—	55—70—40	—	—	66	27
			1/20	„	100—190	—	—	37—54—33	—	—	90	46
21	Kaninchen	Urethan	1/20	„	120—170	38—45	—	—	—	—	42	18
			1/20	„	120—165	38—42	—	—	—	—	37	10

	Tier	Art der Narkose	Menge des injizierten Adrenalis in mg	Ort der Injektion	Blutdrucksteigerung von — bis in mm Hg	Augendruckänderungen von — bis in mm Hg: Typus I parallele Steigerung	Ia langsameres Ansteigen und Absinken	Ib verfrühtes Absinken	II ausschliessliche Steigerung	III späte unabhängige Steigerung	Der Blutdruck steigt um % seiner ursprünglichen Höhe	Der Augendruck steigt um % seiner ursprünglichen Höhe
22	Kaninchen	Curare	1/10	Ohrvene	120—150	—	16—17	—	—	—	25	6
23	Kaninchen	Curare	1/10	„	150—200	....	....	....	15—15	—	33	—
			1/10	„	150—200	....	....	....	15—15	—	33	—
24	Kaninchen	Curare	1/10	„	130—200	15—20	—	—	—	—	54	33
			1/10	„	100—190	14—20	—	—	—	—	90	43
25	Kaninchen	Curare	1/5	„	110—170	—	13—17	—	—	—	54	30
26	Kaninchen	Curare	1/5	V. jugularis	120—200	—	—	—	—	25—50	66	100
27	Kaninch. †	Curare	1/2	Ohrvene	110—150	—	15—22	—	—	—	36	46
1	Katze	Curare	1/20	V. femoralis	140—190		18—36	—	—	—	36	100
2	Katze	Curare	1/10	V. femoralis	130—200	24—43	—	—	—	—	54	79
			1/10	V. femoralis	100—180	25—39	—	—	—	—	80	56
3	Katze	Curare	1/10	V. femoralis	140—220	24—36	verspätetes Absinken				51	50
			1/10	Karotis d. gleich. Seite	145—200	27—35	verfrühtes Ansteigen und verspätetes Absinken				37	30
4	Katze	Curare	1/5	V. femoralis	150—180	25—38	verspätetes Absinken				20	52
5	Katze	Curare	1/5	V. femoralis	200—300	—	—	—	—	22—48	50	118
1	Hund	Curare	1/10	V. femoralis	180—250	22—25	—	—	—	—	39	14
			1/10	V. femoralis	180—250	22—25	—	—	—	—	39	14
2	Hund	Curare	1/20	V. femoralis	150—240	23—32	—	—	—	—	60	39
			1/20	V. femoralis	145—230	22—27	—	—	—	—	58	23

dige ist, und wenn sie auch durch blosse Beobachtung schwer abzuschätzen ist, so hatte ich doch mehrfach den Eindruck, dass sie in den Fällen, die den Typus III zeigten, eine besonders ausgeprägte war.

Der Typus II macht der Erklärung viel geringere Schwierigkeiten, denn schon a priori und ganz im allgemeinen können wir sagen, dass,

wenn sich der Augendruck an einer Blutdrucksteigerung nicht beteiligt, dies nur auf gleichzeitige lokale Vasokonstriktion im Auge zurückzuführen ist. Nun wissen wir aber, dass das Adrenalin bei lokaler Applikation eine Verengerung der den Flüssigkeitswechsel des Auges besorgenden Gefässe hervorruft, und es liegt daher nichts näher, als anzunehmen, dass dies auch bei intravenöser Injektion, wenn auch in wechselnder Stärke geschieht. Dass die Mydriasis von keiner Bedeutung für die Drucksenkung ist, braucht kaum hervorgehoben zu werden, da sie ja bei allen Tieren und zwar stets etwa im Momente, in dem der Blutdruck seine höchste Höhe erreicht, eintritt. Ich habe sie deshalb auch nicht auf allen Kurven eigens notiert.

Wir können demnach sagen, dass es 3 Faktoren sind, die bei der intravaskulären Adrenalininjektion am Kaninchenauge in Konkurrenz mit einander treten: 1. Die allgemeine blutdrucksteigernde Wirkung, 2. die lokale Vasokonstriktion und 3. die Kontraktion der glatten Orbitalmuskulatur.

Warum das eine Mal das erste, das andere Mal das zweite oder dritte Moment überwiegt, ist vorderhand noch nicht zu entscheiden. Ich habe mich, wie aus der Tabelle hervorgeht, bemüht, dadurch irgend einen gesetzmässigen Zusammenhang zu ermitteln, dass ich die Adrenalindosis, den Injektionsort oder die Narkosenart variierte, dass ich die Injektion an ein und demselben Tier 2—3mal wiederholte, und endlich zur Registrierung auch Augen verwendete, die sich in einem Reizzustand, also unter abnorm hohem Druck befanden. (Versuch 18—21). Aber durch nichts wurde eine Regelmässigkeit in den scheinbar ganz willkürlichen Wechsel der Erscheinungen gebracht, mit Ausnahme der einen schon erwähnten Tatsache, dass die späte unabhängige Drucksteigerung des Typus III nur bei erstmaliger Injektion zu beobachten war, was dafür spricht, dass die Kontraktion der glatten Orbitalmuskulatur, wenn sie einmal einen extremen Grad erreicht hat, nicht so leicht ein zweites Mal auszulösen ist. Abgesehen hiervon müssen wir es aber einstweilen eine offene Frage sein lassen, warum das eine Mal die eine, das andere Mal die andere Wirkung des Adrenalins am Auge prävaliert.

Was übrigens die Häufigkeit der 3 Haupttypen anbetrifft, so fand sich bei 27 Kaninchen unter 38 Injektion Typus I 15mal, Typus II 3mal und Typus III 5mal, während Ia 10mal und 1b 3mal vertreten sind. Nur bei einem einzigen Tiere fand ich gar keine Wirkung der Injektion am Auge (Kaninchen 23). Es stehen also,

wie man sieht, die beiden drucksteigernden Faktoren bei weitem im Vordergrund.

Bei Katzen wird nun das Bild insofern ein anderes, als, wenigstens bei den 5 zu diesen Versuchen dienenden Tieren, bei denen im ganzen 7 Injektionen vorgenommen wurden, niemals die Andeutung einer lokalen Vasokonstriktion in den Kurven zutage trat, weder in der Weise, dass ein absolutes noch ein relatives, d. h. zu frühzeitiges Sinken des Augendruckes sich markierte. Meine Versuche stimmen demnach in diesem Punkte ganz mit denen von Kahn überein, der ausschliesslich an Katzen operierte. Da indessen Hendersen und Starling, die ebenfalls nur Katzen verwendeten, gelegentlich auch eine Druckabnahme konstatierten, so möchte ich dieses Ergebnis, da es in Parallele zu meinen Kaninchenversuchen steht, trotz der freilich nicht ganz einwandsfreien Technik dieser Untersucher nicht mit der gleichen Sicherheit in Abrede stellen, wie es Kahn getan hat. Zweifellos prävaliert aber die druckerhöhende Wirkung bei der Katze noch viel mehr wie beim Kaninchen, und zwar spielt, wie ebenfalls Kahn bereits gefunden hat, auch hier ein Faktor mit, der mit der Blutdruckerhöhung nichts zu tun hat. So konnte ich dreimal eine protrahierte, einmal eine vom Blutdruck ganz unabhängige späte Augendrucksteigerung konstatieren (vergleiche die Tabelle Seite 44). Auch den weiteren merkwürdigen Befund desselben Autors konnte ich bestätigen, dass bei Einspritzung des Adrenalins in das strömende Karotisblut der Augendruck bereits früher ansteigt als der Blutdruck. Seiner theoretischen Erklärung, dass dies auf einer Erweiterung der intraokularen Gefässe beruht, vermag ich mich indessen nicht ohne weiteres anzuschliessen. Denn wenn Kahn (26) auch konstatieren konnte, dass sich die Netzhautgefässe nach intravenöser Adrenalineinspritzung erweitern, so braucht dies durchaus nicht von den übrigen intraokularen Gefässen zu gelten. Konnte ich doch bei lokaler Applikation des Mittels, ebenso wie beim Kaninchen, so auch am Katzenauge eine Verminderung der Kammerwasserproduktion und eine erhöhte Widerstandsfähigkeit der Ziliarkörpergefässe gegen hyperämieerzeugende Eingriffe beobachten nur waren schon zur Erzielung eines geringeren Effektes viel grössere Dosen als beim Kaninchen erforderlich.

Ich erkläre mir die in Rede stehende Erscheinung deshalb so, dass bei der Katze die lokal vasokonstriktorische Wirkung im Auge an Mächtigkeit weit hinter der Wirkung auf die glatte Orbitalmuskulatur zurücksteht, so dass die vom Blutdruck unabhängige, durch Kompression

des Bulbus bedingte Augendrucksteigerung in den Vordergrund der Erscheinungen tritt. Hiermit stimmt sehr gut überein, dass ich ein analoges Verhalten, wie wir später sehen werden, auch bei der Sympathikusreizung bei der Katze konstatieren konnte, und im Grunde besteht die Wirkung des Adrenalins am Auge, wie ich schon früher gezeigt und jetzt bestätigt gefunden habe, in nichts anderem als einer lokalen Erregung aller vom Halssympathikus innervierten Muskeln. Dass diesem Faktum eine theoretische Bedeutung zukommt, da das Mark der Nebenniere ja ein genetisch zum sympathischen System gehöriges Organ ist, habe ich schon bei anderer Gelegenheit hervorgehoben.

Was endlich die Wirkung der intravenösen Adrenalininjektionen auf den Augendruck beim Hunde anbetrifft, so habe ich, wie aus der Tabelle hervorgeht, bei vier Injektionen an zwei Tieren jedesmal einen vollständigen Parallelismus zwischen Augen- und Blutdruck gefunden. Um zu entscheiden, ob dies die einzige bei diesen Tieren vorkommende Form der Adrenalinwirkung ist, sind indessen diese Versuche natürlich zu gering an Zahl.

Zum Schlusse endlich habe ich auch noch die Wirkung der intravenösen Adrenalininjektionen auf die Produktion des Kammerwassers untersucht. Bei lokaler Applikation hatte ich gefunden, dass dadurch die hyperämisierende Wirkung einer Punktion oder einer subkonjunktivalen Injektion von 5 %iger Na Cl-Lösung fast aufgehoben werden kann. Das letztere Mittel verwendete ich nun auch zur Prüfung der Wirkung bei intravaskulärer Adrenalininjektion und zwar indem ich kurz nach dieser eine subkonjunktivale Einspritzung von 5 bis 10 %iger Kochsalzlösung an einem Auge vornahm. Die Wirkung derartiger Injektionen auf den Augendruck soll erst an späterer Stelle genauer geschildert werden. Hier möchte ich mich deshalb damit begnügen, zu erwähnen, dass die dabei sonst zu beobachtende Drucksteigerung durch Hyperämie der inneren Gefässe des Auges kaum 1/3 so gross ausfällt (vergl. die Tabelle auf Seite 86). Damit ist zur Sicherheit erwiesen, dass auch bei intravaskulärer Anwendung eine Vasokonstriktion im Auge statt hat. Somit bestehen keine prinzipiellen Differenzen zwischen beiderlei Versuchsarten, nur gesellen sich eben im letzteren Falle zu der lokalen Wirkung noch die der allgemeinen Blutdrucksteigerung und der Kontraktion der Orbitalmuskulatur hinzu.

Wenn ich relativ lange bei diesem Thema verweilt bin, obwohl der Wirkung intravenöser Adrenalininjektionen ja eigentlich nur ein theoretisches und kein praktisches Interesse zukommt, so ist es des-

wegen geschehen, weil durch diese Untersuchungen einmal eine Bestätigung der früheren Ergebnisse bezüglich der praktisch nicht unwichtigen lokalen Wirkung des Adrenalins am Auge erbracht ist, zweitens aber weil sie ein gutes Beispiel dafür bieten, wie schwierig unter Umständen die Entwirrung der am Augendruck sich geltend machenden Veränderungen sein kann. Ich glaube deshalb, dass die recht mühevolle Analyse der zahlreichen Adrenalinversuche in dieser Hinsicht doch eine lohnende war. Denn nichts konnte deutlicher zeigen, welchen Irrtümern wir ausgesetzt sein würden, wenn wir uns bei Augendruckversuchen auf die einfache Manometrie beschränken wollten, und nicht gleichzeitig in derselben Form Blut- und Augendruck graphisch registrierten.

Praktisch wichtiger ist die folgende Versuchsreihe über den

III. Einfluss des Halssympathikus auf das Auge.

Bekanntlich gehen über diese Frage, die ja für die Therapie des Glaukoms eine besondere Bedeutung gewonnen hat, die Ansichten noch sehr auseinander. Das hat seinen Grund darin, dass die Versuchsresultate der einzelnen Untersucher nicht nur je nach der Art der zu ihren Experimenten gewählten Tiere (Kaninchen, Katze, Hund), sondern auch bei ein und derselben Tierart stark differieren, ja sogar teilweise in direktestem Gegensatze zueinander stehen.

So haben, was die Sympathikusreizung anbetrifft, am Kaninchen Gruenhagen und v. Hippel (13) vom Halsstrang aus keine Änderung des Augendruckes hervorrufen können, während Wegner (53) ine leichte Drucksteigerung, v. Schultén (48) stets eine starke Druckabnahme beobachten konnte. Letzterer stellte dabei auch eine Abnahme der Augenpulse, sowie ein Überdauern der Drucksenkung nach Aufhören des Reizes fest. Bei Reizung des oberen Halsganglions sahen auch Gruenhagen und v. Hippel Druckabnahme. Bei der Katze beobachtete Adamuek (2) ausschliesslich Druckzunahme, ebenso Kahn (25), der sie mit seiner (an früherer Stelle erwähnten) graphischen Methode registrierte, während Gruenhagen und v. Hippel nur eine kurze anfängliche Drucksteigerung konstatierten, der sich eine längere Senkung anschloss. Das gleiche stellte Graser (9) und in den meisten seiner Versuche Bellarminoff (4) fest, der auch eine entsprechende Kurve abbildet, ebenso Henderson und Starling (20), bei denen die Kurven allerdings ein auffällig steiles Ansteigen und Fallen zeigen, was sicherlich auf Rechnung der

Fehler ihrer Methode zu setzen ist. Ganz analog bilden sie auch die Kurven vom Hunde ab. Bei Hunden haben Versuche ferner Gruenhagen und v. Hippel angestellt, die ebenfalls eine kurze Steigerung mit nachfolgender Senkung notierten.

Wie man sieht, stehen die Versuche am Kaninchen z. Z. noch in direktem Widerspruch zueinander, während bei Katzen und Hunden das ziemlich übereinstimmende Resultat dahin lautet, dass erst eine kurze Steigerung, dann eine längerdauernde Senkung statt hat. Während letztere allgemein auf Kontraktion der intraokularen Gefässe bezogen wird, gehen die Ansichten über die Erklärung der anfänglichen Druckzunahme auseinander. Adamuek führt sie auf gleichzeitige Blutdrucksteigerung zurück, Bellarminoff und Kahn auf eine Gefässerweiterung im Auge, die ersterer mit vasodilatatorischen Fasern im Halssympathikus, letzterer mit einer Stauung innerhalb der Orbita erklärt, während v. Hippel und Gruenhagen sowie Henderson und Starling auf die Kontraktion der glatten Orbitalmuskulatur als Ursache der Drucksteigerung rekurrieren. Die letztgenannten Autoren scheinen mir hierfür auch den Beweis erbracht zu haben, indem sie feststellen konnten, dass an frisch getöteten Katzen Reizung des Halssympathikus ausschliesslich Drucksteigerung bedingt.

Was endlich die Sympathikusdurchschneidung anbetrifft, so konnten von Hippel und Gruenhagen bei Durchtrennung des Halsstranges an Katzen und Kaninchen keine Wirkung, nach Entfernung des Ganglion cervicale supremum eine Druckzunahme beobachten, während Wegner den Druck nach einiger Zeit sinken sah, was auch tonometrisch von mehreren Untersuchern nach Halsstrangdurchschneidung oder Ganglionexstirpation festgestellt worden ist. (Hertel 21 Neuschüler 39).

Als erste Aufgabe stellte ich mir, zu untersuchen, welchen Effekt die faradische Reizung des Halssympathikus beim Kaninchen hat, und ich war dabei von der absoluten Regelmässigkeit der Erscheinungen überrascht. Im ganzen habe ich 16 solche Versuche angestellt, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 52 wiedergegeben sind.

Bei 15 der Versuche war die Anordung derart, dass der Augendruck vom linken Auge und der Blutdruck von der rechten Karotis aufgeschrieben wurde. Es erfolgte dann Reizungdes linken Halssympathikus. Nur einmal wurde der Blutdruck in der Arteria femoralis gemessen und der Druck an beiden Augen registriert, wobei, wie ich hier gleich bemerken möchte am Auge der Gegenseite keinerlei Wir-

kung auftrat. Die Reizung des Nerven geschah mit faradischen Strömen von solcher Stärke, dass eine maximale Pupillenerweiterung am Auge der betreffenden Seite erfolgte. Nur an gereizten (hyperämischen) Augen fällt die Mydriasis nicht ganz so stark aus, bleibt aber auch dann immer deutlich wahrnehmbar. Die Dauer der Reizung wechselte zwischen 1/2 und 2 Minuten.

Was zunächst den Blutdruck anbetrifft, so fand ich in 11 Fällen keine Beeinflussung desselben durch die Reizung. 3 mal schloss sich eine ganz unbedeutende und kurz dauernde Senkung, 2mal eine ebenso unbeträchtliche Steigerung an den Eingriff an. Beide erreichten kaum die Höhe von 10 mm Quecksilber und scheinen von keiner prinzipiellen Bedeutung zu sein[1]) Jedenfalls stehen die Veränderungen des Augendruckes nicht in Zusammenhang mit ihnen, wie auch aus dem in Fig. 15 gewählten Beispiel hervorgeht, in welchem eine der erwähnten kurzdauernden leichten Blutdrucksenkungen zum Ausdruck kommt.

Der Augendruck zeigt nun jedesmal eine sich sofort an den Beginn der Faradisierung anschliessende starke Senkung, die das Ende der Reizung noch erheblich überdauert, auch erhebt sich nach ihr der Druck erst ganz langsam wieder oder überhaupt nicht vollständig zur alten Höhe. Dabei macht sich die auffällige Erscheinung geltend, dass die Pulserhebungen des Augendruckes ausserordentlich klein werden oder sogar gänzlich verschwinden, und zwar geht dies weit über die bei sonstigen Druckabnahmen von entsprechender Grösse eintretende Verminderung der Pulselevationen hinaus.

Durch alles dies gestaltet sich die Augendruckkurve bei Sympathikusreizung beim Kaninchen zu einem ganz typischen Bilde, von dem die Figuren 15 und 16 Zeugnis ablegen und das in allen Fällen wiederkehrt.

Im ganzen genommen werden die Erscheinungen noch ausgeprägter, weil umfangreicher, wenn man den Versuch an hyperämischen Augen vornimmt, und ich habe deshalb in Fig. 16 einen solchen Fall zur Reproduktion gebracht, in dem sich das Auge unter der abklingenden Wirkung einer subkonjunktivalen Injektion 5%iger NaCl-Lösung

---

1) Eigentlich sollte man ja regelmässig eine Blutdrucksteigerung infolge der durch die Vasokonstriktion bedingten Verkleinerung des arterillen Stromgebietes bei der Sympathikusreizung erwarten; doch ist das bei kurarisierten Kaninchen nicht der Fall. Vielleicht hängt das damit zusammen, dass die Hautgefässe an Kopf und Ohr schon von vornherein meist stark kontrahiert sind.

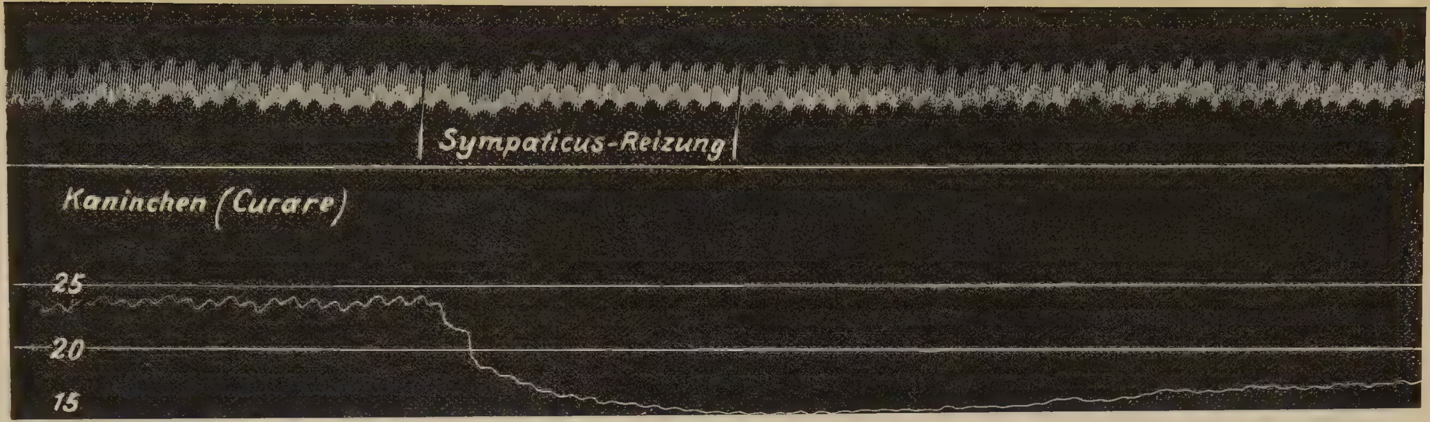

Fig. 15.
$^4/_5$ natürl. Grösse. Oben Blutdruck (rechte Karotis), unten Augendruck (linkes Auge), Sympathikus-Reizung links. (Dauer $^3/_4$ Min.)

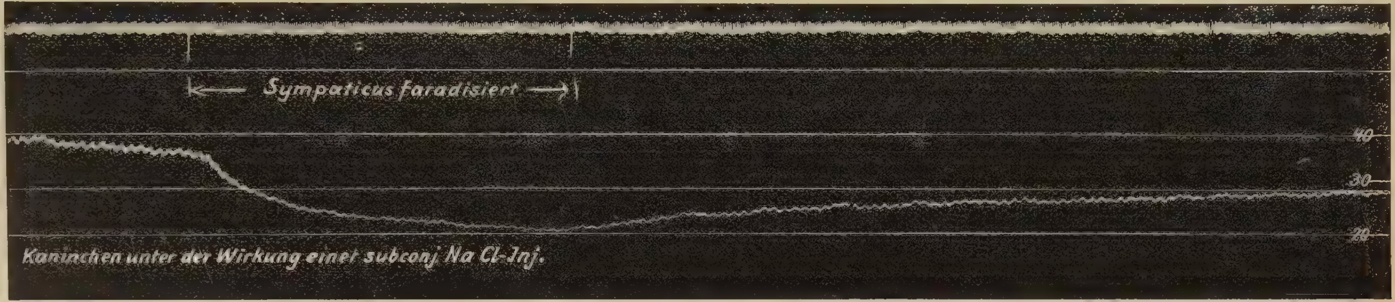

Fig. 16.
$^1/_2$ natürl. Grösse. (Curare, künstl. Atmung), oben Blutdruck (rechte Karotis), unten Augendruck (linkes Auge). Sympathikus-Reizung links. (Dauer $1^1/_2$ Min.)

befand, weshalb die Augendruckkurve auch bereits vor der Sympathikusreizung die Tendenz zum Absinken zeigt.

Wirkung der faradischen Reizung des Halssympathikus auf den Augendruck derselben Seite und den Blutdruck in der Karotis der anderen Seite.

	Tier	Dauer der Reizung	Blutdruckveränderung	Der Augendruck sinkt von — bis in mm Hg	Augendrucksenkung in % der ursprüngl. Höhe
1	Kaninchen (Curare)	1 Minute	unverändert	18—15	17
2	„	1/2 „	„	18—13	28
3	„	1 „	„	19—14	26
4	„	2 „	„	23—20	13
5	„	3/4 „	„	24—15	38
6	„	1 „	sinkt anfänglich etwas	25—17	32
7	„	1 1/2 „	desgleichen	28—17	39
8	„	1 1/2 „	unverändert	38—20	47
9	„	1 „	steigt anfänglich etwas	45—35	23
10	„	3/4 „	unverändert	47—35	26
11	„	1 „	steigt anfänglich etwas	50—37	26
12	„	1 „	unverändert	57—38	34
13	„	1 1/2 „	„	60—45	35
14	„	2 „	sinkt anfänglich etwas	62—40	36
15	„	1 „	unverändert	70—40	43
16	„	1 „	„	71—43	40
1	Katze (Curare)	3 „	langsame geringe Senkung	18—25—16	12
2	„	1 „	desgleichen	20—27—18	10
3	„	5 „	anfängl. minimale Steigerung, etwas später einsetzend als die Augendruckzunahme, dann langsame geringe Senkung	23—37—21	9
4	„	1 1/2 „	desgleichen	24 1/2—28—22	10
5	„	5 „	sinkt nur anfänglich etwas, erreicht dann bald die alte Höhe	28—32—22	22
1	Hund (Curare)	1 „	steigt stark 150—220, ohne nachfolgende Senkung	26—27—23	12
2	„	1/2 „	steigt stark 150—200, ohne nachfolgende Senkung	26—27—22	16

Dass die relativen Werte, um die der Augendruck bei Sympathikusreizung fällt, in Augen mit hohem Drucke grössere sind, geht

ebenfalls aus der Tabelle hervor, in der die einzelnen Versuche wieder nach der Höhe des ursprünglichen Augendruckes geordnet, und die Prozentzahlen, um die der Augendruck sinkt, in der letzten Kolumne eingetragen sind. Es ergibt sich dabei, dass diese Werte als extremste Grenzen 13 und 47 % erreichen, durchschnittlich sich aber um eine Höhe von 30 % herum bewegen. Wir können demnach als eindeutiges Resultat unserer Versuche feststellen, dass beim Kaninchen die Faradisierung des Halsstranges ein vom Blutdruck unabhängiges Sinken des Augendruckes um durchschnittlich 30 % seiner ursprünglichen Höhe hervorruft. Eine Drucksteigerung geht der Senkung dabei nicht voran.

Anders ist das Resultat bei Katzen und Hunden. Was zunächst der Blutdruck bei der Katze anbetrifft, so konnte ich in jedem Falle meiner 5 Versuche ein ganz langsames Absinken des Blutdruckes um 10—20 mm Hg beobachten. Nur zweimal ging dieser Senkung eine ganz mini-

Fig. 17.
Katze (Curare), oben Blutdruck (rechte Karotis), unten Augendruck (linkes Auge). Reizung des Halsstranges links. (Dauer $1^1/_2$ Min.)
$^4/_5$ natürl. Grösse.

male, eben erkennbare Blutdruckerhebung (von vielleicht 5 mm Hg) voraus, die übrigens beide Male etwas später einsetzte als die Augendrucksteigerung, auf die wir gleich zu sprechen kommen werden. Sowohl von der minimalen Erhebung als der langsamen gleichförmigen Senkung des Blutdruckes gibt Fig. 17 ein Bild. Eine sichere Erklärung dieser Erscheinungen vermag ich nicht zu geben.

Der Augendruck zeigte in jedem Falle sofort nach Beginn der Reizung ein schnelles Ansteigen um 3—4 mm Hg, welches nur wenige Sekunden währte, so dass nach 1/4 Minute meist schon wieder die alte Höhe erreicht war, worauf dann ein langsames weiteres Sinken allerdings meist auch nur um wenige Millimeter folgte. Die Zahlen der Tabelle geben über die absoluten und relativen Werte Auskunft. Nur einmal unter den 5 Fällen fiel der Druck um 22 %, in den übrigen Fällen handelte es sich um Werte von zirka 10 %, also um 3mal so geringe als beim Kaninchen. Dass die kurze Augendrucksteigerung nichts mit der Blutdrucksteigerung zu tun hat, ergibt sich einmal aus dem Umstande, dass erstere ein regelmässiges Vorkommnis ist, letztere nicht, zweitens aus den zahlenmässigen und zeitlichen Differenzen zwischen beiden. Aber auch die nachträgliche Augendruckabnahme ist nicht, wie man anfänglich anzunehmen geneigt sein könnte, einfache passive Folge der Blutdrucksenkung. Erstlich konnte ich gerade in dem Falle, wo sie am stärksten ausfiel, (Fall 5 der Tabelle) feststellen, dass der Blutdruck bereits zu einer Zeit seine alte Höhe erreicht hatte, zu der der Augendruck noch weiter sank, zweitens machte sich in allen Fällen das charakteristische Phänomen des Verschwindens der Augenpulse während der Reizung geltend. Ja dieses ist an den Katzen (wie auch Fig. 17 zeigt) noch viel schöner wahrnehmbar, als an der Kaninchenkurve, weil hier der Augendruck nur um wenige Millimeter fällt, dieser Umstand allein also keine merkliche Abflachung der Pulserhebungen bedingen könnte. Übrigens beteiligen sich, wie man sieht, auch die Atemschwankungen an der Erscheinung.

Wir können demnach auch hier mit Sicherheit annehmen, dass eine Kontraktion der inneren Gefässe statthat. Dass damit nicht ohne weiteres die von verschiedenen Seiten gemachte Beobachtuug in Frage gestellt werden soll, dass sich die Retinalgefässe während der Reizung des Halssympathikus bei Katzen erweitern, braucht kaum ausdrücklich hervorgehoben zu werden, da schon einmal betont wurde, dass an den Netzhautgefässen durchaus andere Innervationsphänomene statthaben

können als an den übrigen Augengefässen. Auf einen analogen scheinbaren Widerspruch werden wir übrigens später noch gelegentlich der Versuche der Karotisabklemmung stossen.

Was endlich die Untersuchungsergebnisse beim Hunde anbelangt, die sich allerdings nur auf 2 Versuche erstrecken, so konnte ich beide Male eine auffällig starke Steigerung des Blutdruckes im Anschluss an die Halsstrangreizung beobachten, welchen keine Senkung folgte. Der Augendruck zeigte dagegen eine nur unbedeutende Erhebung (um 1 mm), die dann von einer etwas stärkeren und langedauernden Senkung gefolgt war. (4 mm). Die absoluten Zahlenwerte sind aus der Tabelle zu ersehen.

Wie man sieht, stimmen meine Versuche an Katzen und Hunden mit denen der früheren Untersucher im wesentlichen überein, aber auch zu den Resultaten am Kaninchen scheint mir kein prinzipieller, sondern nur ein gradueller Unterschied zu bestehen, derart, dass die vasokonstriktorische Wirkung bei Hund und Katze weit hinter der beim Kaninchen zurücksteht, während bei diesem wieder die Wirkung der glatten Orbitalmuskulatur ausfällt. Ein Widerspruch könnte nur in Hinblick auf die im vorigen Abschnitte mitgeteilten Adrenalin-Versuche gefunden werden, da bei diesen ja gerade wiederholt eine erhebliche Drucksteigerung gefunden wurde, die mit Wahrscheinlichkeit auf Kompression durch die Orbitalmuskulatur zurückzuführen war. Doch mag dies damit zu erklären sein, dass das Adrenalin lokal auf die glatten Muskelzellen stärker wirkt als die Innervation von den ihnen zugehenden Sympathikusfasern aus. Die hauptsächlichste Verschiedenheit zwischen Kaninchen einerseits, Katze und Hund andererseits war übrigens auch dort gewahrt, nämlich die geringere intraokulare Vasokonstriktion bei letzteren Tieren.

Wir können demnach wohl als die für das Auge wichtigste Wirkung der Sympathikusreizung die Vasokonstriktion und die durch sie bedingte Druckherabsetzung hinstellen, unter der Hinzufügung, dass diese Wirkung bei Katze und Hund eine geringere ist als beim Kaninchen.

Wollte man den gleichzeitigen Einfluss des Sympathikus auf die intraokulare Flüssigkeitsproduktion feststellen, so war infolgedessen das geeignetste Versuchsobjekt das Kaninchen. Schon an anderer Stelle[1]) habe ich gelegentlich mitgeteilt, dass dauernde Faradisierung des Halssympathi-

1) Heidelberger Kongressbericht 1900.

kus imstande ist, die Wirkung einer Punktion der vorderen Kammer fast vollständig zu paralysieren, sodass nur ganz spärlich ein Kammerwasser von geringem Eiweissgehalt abgesondert wird. Ich habe diesen Versuch mehrfach und stets mit dem gleichen Erfolg wiederholt. Man verfährt dabei am besten so, dass man in schonender Weise den Halsstrang von vornherein möglichst in seiner ganzen Länge freilegt und zunächst am unteren Ende eine Stromstärke anwendet, bei der sich die Pupille gerade maximal erweitert. Darauf wird beiderseits die vordere Kammer punktiert. Man muss dann, weil der Nerv allmählich leidet, langsam mit den Elektroden kopfwärts vorrücken und den Strom verstärken. Macht man dies in sparsamer Weise, so gelingt es, den Nerv während einer halben Stunde dauernd in Reizung zu halten, was man an der Mydriasis und der Blässe der Konjunktiva und Iris kontrollieren kann. Man sieht dann, dass auf der Seite der Reizung die Kammer sich nur ganz langsam wiederherstellt, dass das Auge weich bleibt, während das andere schon längst normale oder übernormale Spannung (letzteres ist nach Punktion der Kammer die Regel) angenommen hat, und entnimmt man dann den Humor aqueus, so erhält man nur halb so viel und viel weniger eiweissreiches Kammerwasser als auf der normalen Seite. Auch mit intravenöser Fluoresceininjektion kann man den Versuch verbinden, wobei dann der charakteristische Farbstoffaustritt aus der Pupille auf seiten der Reizung nicht eintritt oder zum mindesten viel geringer ausfällt. In dieser Form eignet sich dieses stets zuverlässige Experiment sehr gut zum Vorlesungsversuch.

Auch am intakten Auge lässt sich die Vasokonstriktion mit Hilfe des Fluoresceins nachweisen, indem bei geeigneter Dosis die Ehrlichsche Linie auf der Seite der Sympathikusfaradisierung ausbleibt. Wenn demgegenüber Lodato (35) nach Reizung des Ganglion cervicale supremum eine Eiweissvermehrung gefunden haben will, so kann ich mir das nur dadurch erklären, dass seine Methode der dauernden Reizung durch Einbringung eines Fremdkörpers in das Ganglion mehr zu einer langsamen Abtötung als zu einem dem Nerven adäquaten „Reize“ führte. Ich konnte wenigstens meinerseits feststellen, dass selbst die Wirkung einer subkonjunktivalen Injektion von 5 %iger Kochsalzlösung durch Sympathikusfaradisierung fast vollständig zu paralysieren ist, wobei auch die Hyperämie der Konjunktiva, die sonst der Injektion folgt, ausbleibt.

War hiermit auch die qualitative Änderung der intraokularen Flüssigkeitsproduktion durch Sympathikusreizung für das geschlossene

intakte Auge erwiesen, d. h. insoweit, als Bestandteile des Blutes in geringerer Menge dabei aus den Gefässen in die Augenflüssigkeiten übergehen, so war doch noch die Frage offen, ob damit auch eine quantitative Änderung, d. h. eine Verminderung der Kammerwasserproduktion verknüpft ist. Denn wenn dies auch für das offene Auge mit freiem Kammerwasserabfluss sicher erwiesen ist, so braucht es noch nicht ohne weiteres für das geschlossene Auge zuzutreffen. Ich will auf die theoretische Seite dieser Frage erst gelegentlich der Besprechung der Versuche über die Wirkung subkonjunktivaler Injektionen eingehen, da es dort von grösserer praktischer Bedeutung ist, ob mit der qualitativen auch eine in Betracht kommende quantitative Änderung der intraokularen Flüssigkeitsproduktion einhergeht, und werde mich daher für den vorliegenden Fall einstweilen auf blosse Wiedergabe der einschlägigen Versuche beschränken.

Wie schon erwähnt, beruht der im Moment des Todes im Auge zurückbleibende Druck fast ausschliesslich auf dem Verhältnis zwischen der Menge der intraokularen Flüssigkeiten und der Elastizität der Bulbuswandungen. Wenigstens kommt, wenn man das Tier verbluten lässt, die Menge des zurückbleibenden Blutes demgegenüber kaum in Betracht. Es stellt somit der im Auge restierende Druck einen guten, vielleicht den besten Gradmesser für die Menge der Augenflüssigkeiten dar. Ich habe deshalb Versuche in folgender Weise angestellt:

Es wurde an beiden Augen eines Kaninchens gleichzeitig der Druck graphisch registriert und zwar wurden dazu Fälle ausgesucht, bei denen die Augendruckhöhe beiderseits möglichst genau gleich war. Nun wurde während 15 Minuten der Halssympathikus in der vorhin erwähnten Weise mit langsam gesteigerter Stromstärke unter dauernder Erhaltung der Mydriasis faradisiert. Darauf wurde das Tier aus der Vena cava inferior verblutet. Die sich hierbei ergebenden Druckwerte sind nachstehend wiedergegeben.

Wirkung einer 15 Minuten langen Sympathikusfaradisierung auf das Flüssigkeitsquantum im Auge.

	Augendruck in mm Hg		
	im Anfang des Versuchs	vor der Verblutung	nach der Verblutung
Kaninchen 1 rechtes Auge (normal) . .	22	22	$8^1/_2$
linkes Auge (Sympathikusreizung) . .	22	13	7

	Augendruck in mm Hg im Anfang des Versuchs	vor der Verblutung	nach der Verblutung
Kaninchen 2 rechtes Auge (normal) . .	25	$23^1/_2$	9
linkes Auge (Sympathikusreizung) . .	$25^1/_2$	14	8

Wie man sieht, ist beide Male eine Differenz der Druckhöhe im Tode im Sinne einer Inhaltsverminderung des unter Sympathikusreizung stehenden Auges nachweisbar. Zwar ist diese Differenz sehr gering, aber wir dürfen nicht vergessen, dass bei so niedriger Druckhöhe einem Millimeter Hg etwa fünf Kubikmillimeter intraokulare Flüssigkeit entsprechen. Wie weit solche Versuche Anspruch auf Zuverlässigkeit erheben dürfen, soll erst an späterer Stelle besprochen werden und es mag einstweilen bei der Registrierung des Faktums sein Bewenden haben.

Was die Sympathikus durchschneidung anbetrifft, so herrscht unter den Angaben über ihren Einfluss auf die Qualität des Kammerwassers ziemliche Übereinstimmung. Schon Senator (57) hatte eine Vermehrung des Eiweissgehaltes im Kammerwasser derselben Seite auftreten sehen und Uhthoff und Schoeler (47) sowie Nicati (40) einen vermehrten Fluoresceinübertritt. Diese Erscheinungen sind dann von Lodato (35), Lentini (34) und Langendorff (30) in gleicher Weise beobachtet worden und nur Gasparrini (8) scheint sie vermisst zu haben. Ich möchte mich daher darauf beschränken, mitzuteilen, dass auch ich stets eine merkliche Vermehrung des Fluorescein- und Eiweissübertrittes nach Sympathikusdurchschneidung gesehen habe, und zwar war die Erscheinung bereits $^1/_4$ und $^1/_2$ Stunde nach dem Eingriff deutlich, wobei übrigens Entfernung des oberen Halsganglions nicht immer einen stärkeren Effekt gab als blosse Halsstrangdurchschneidung. Dagegen kehrte entsprechend den bekannten Phänomenen an Pupille und Kopfgefässen der normale Zustand nach Ganglionexstirpation viel schneller zurück als nach Halsstrangdurchschneidung. So konnte ich im letzteren Falle noch nach mehr wie 14 Tagen eine deutliche, wenn auch im Vergleich zu den ersten Tagen geringe Eiweissvermehrung im Humor aqueus konstatieren, während im ersteren Falle nach spätestens acht Tagen kein merkbarer Unterschied gegen die normale Seite mehr vorhanden war. Was übrigens die absolute Höhe des Eiweissgehaltes dabei anbetrifft, so traten bei meinen Versuchen Mengen bis zu 0,08 % auf.

War somit die Hyperämie der inneren, die Ernährung des Auges besorgenden Gefässe nach Sympathikotomie sicher erwiesen, so war es wichtig, auch das Verhalten des Augendruckes nach diesem Eingriff zu untersuchen, zumal wie schon eingangs erwähnt, die bisherigen Untersucher entweder gar keine Wirkung oder eine nach einiger Zeit einsetzende leichte Druckherabsetzung gefunden hatten. Auch ich erhielt anfänglich negative Resultate, doch schien mir dies in zu auffälligem Widerspruch mit der Tatsache der starken Drucksteigerung nach anderen hyperämisierenden Eingriffen (vergl. darüber Abschnitt V) zu stehen, und ich vermutete deshalb, dass, weil ich den Nerven nach vorangegangener Reizung durchschnitten hatte, durch den hiernach noch längere Zeit anhaltenden niedrigen Augendruck die Erscheinungen vielleicht verwischt sein könnten. Dies hat sich denn in der Tat auch in gewisser Weise bestätigt. Denn als ich einige Versuche ohne vorherige Reizung des Nerven ausführte, wobei ich auch besonders darauf achtete, dass der Nerv bei der Freilegung nicht gezerrt wurde, erhielt ich folgendes ganz regelmässige Ergebnis:

Das erste, was man fast unmittelbar nach der Durchschneidung an der Augendruckkurve der entsprechenden Seite sieht, ist ein Deutlicherwerden der Puls- und Atemschwankungen. Dabei steigt das Niveau des Druckes ebenfalls an, aber nur langsam und unbedeutend. Wie nachstehende kleine Tabelle zeigt, handelt es sich dabei nur um Werte von 2—3 mm Hg.

Wirkung der Sympathikusdurchschneidung auf den Augendruck beim Kaninchen.

(Die Durchschneidung erfolgte jedesmal auf der linken Seite.)

	Augendruck in mm Hg		
	rechtes Auge	linkes Auge	Blutdruck
1. Kaninchen . .	18—17	18—20	140—130
2. Kaninchen . .	22—21	24—26	
3. Kaninchen . .	24—23	25—28$^1/_2$	

Die höchste Höhe ist schon nach 1—2 Minuten erreicht, nach 5 Minuten fängt der Druck wieder an zu sinken und spätestens nach $^1/_4$ Stunde ist er wieder an seinem alten Stande angelangt. Hierbei hält aber die abnorme Grösse der Puls- und Atemerhebungen an, ja sie kann sich, während der Druck um die wenigen Millimeter sinkt, noch vermehren, so dass bei der gleichen Druckhöhe wie vor der Durchschneidung die Pulse fast dreifache Höhe haben können. Am

andern Auge zeigt sich jedesmal eine geringe Abnahme des Augendruckes und auch der Blutdruck, der einmal in der Arteria femoralis geschrieben wurde, sank um zirka 10 mm. Beides ist miteinander wohl in Zusammenhang zu bringen und auf Erweiterung des arteriellen Stromgebietes durch die halbseitige Vasodilatation am Kopfe zurückzuführen. Alle diese Erscheinungen kehrten in meinen 3 Versuchen in so vollständiger Regelmässigkeit wieder, dass sie als etwas durchaus Typisches für die Sympathikusdurchschneidung gelten können, wenn dieselbe, wie gesagt, mit der nötigen Vorsicht am vorher intakten Nerven vorgenommen wird.

Markiert sich demnach die Hyperämie der intraokularen Gefässe dabei auch ganz deutlich an der Grössenzunahme der Pulserhebungen, so stehen wir doch vor der überraschenden Tatsache, dass diese Hyperämie nur eine ganz minimale Erhöhung des gesamten intraokularen Druckes hervorruft. Es ist dies eine so beträchtliche Differenz gegenüber den Erscheinungen nach aktiver Hyperämie, wie wir sie im letzten Abschnitt unserer Untersuchungen kennen lernen werden, dass wir kaum anders können, als einen prinzipiellen Unterschied zwischen den verschiedenen Formen von Hyperämie bezüglich ihrer Wirkung auf den Augendruck anzunehmen. Es soll indessen hierauf erst bei Gelegenheit der im letzten Abschnitt zu besprechenden Erscheinungen eingegangen werden.

Einfluss von Anämie und Stauung auf das Auge.

a) Anämie.

Was den Einfluss der Anämie oder Ischämie auf den Augendruck anbetrifft, so konnte ich mich zunächst in Übereinstimmung mit den Angaben von v. Schultén (48) und Leber (31) bei starken Blutverlusten am Kaninchen von einem zur Blutdrucksenkung parallel gehenden Abfall des Augendruckes überzeugen. Des weiteren untersuchte ich den Einfluss der Karotisabklemmung. Die Resultate sind in nachstehender Tabelle wiedergegeben.

	Augendruckabnahme in mm Hg bei einseitiger Karotisabklemmung (Wirkung nur am Auge der gleichen Seite!)	bei doppelseitiger Karotisabklemmung
1. Kaninchen	11—10[1]	9

[1]) Unter der Wirkung einer Sympathikusfaradisierung.

	Augendruckabnahme in mm Hg bei einseitiger Karotisabklemmung	bei doppelseitiger Karotisabklemmung
2. Kaninchen . .	20—15	14
3. „ . . .	—	20—13
4. „ . . .	21—14	13
5. „ . . .	23—19	
6. „ . . .	23—20	19
7. „ . . .	28—27	
8. „ . . .	—	29—26
9. „ . . .	29—19	
10. „ . . .	32—21	
11. „ . . .	35—19 35—18	
12. „ . . .	35—15 . . . . 35—16	14

Wie man sieht, schwankt die Druckabnahme bei Karotisabklemmung beim Kaninchen innerhalb sehr weiter Grenzen (1—20 mm Hg). Dies hängt einmal von der anfänglichen Gefässfülle, zweitens wohl von verschiedener Ausbildung des Kollateralkreislaufes ab. Dadurch erklären sich denn auch die untereinander differierenden Angaben von Adamuek (2), v. Schultén (48), Groenholm (10) und Heine (19). Immer aber beschränkt sich die Wirkung ganz oder fast ganz auf das Auge der gleichen Seite. Meist sah ich am zweiten Auge gar keine, selten eine Druckerniedrigung um 1 mm Hg eintreten. Damit stimmt auch überein, dass die Abklemmung der zweiten Karotis ein weiteres Sinken um ebenfalls nur 1 mm Hg zur Folge hat. Es ist diese Erscheinung wohl darauf zurückzuführen, dass für die kollaterale Versorgung des Auges mit Blut beim Kaninchen fast ausschliesslich die Arteriae vertebrales und kaum die Karotis der andern Seite in Betracht kommt. Damit ist auch sichergestellt, dass Blutdruckschreibung in der Karotis der andern Seite für Aufnahme der Augendruckkurve keinen Fehler darstellt, eine Tatsache, die in Hinblick auf die in der Mehrzahl meiner Versuche gewählte Anordnung von Wichtigkeit ist.

Der Abfall des Augendruckes nach Karotisabklemmung ist ein momentaner, und ebenso steigt nach Wiedereröffnung der Druck ganz schnell wieder zu seiner alten Höhe an, wobei ich (nach allerdings

stets nur kurzer, bis zu 1 Minute dauernder Abklemmung) kein Steigen über den ursprünglichen Stand beobachtet habe.

Es war nun in Hinblick auf die bekannten Versuche über Versagen der Nierenfunktion nach Abklemmung der Arteria renalis sowie nachfolgende Sekretion eines eiweissreichen Urins von Interesse, auch die Kammerwasserabsonderung nach Karotisabklemmung und Wiedereröffnung zu untersuchen.

Um nicht Fehlern dadurch ausgesetzt zu sein, dass etwa der Eingriff der Abklemmung allein schon auf den Eiweissgehalt des Humor aqueus wirkte, wurden die Versuche in folgender Form ausgeführt:

Es wurden den Kaninchen beiderseits die Karotiden freigelegt und abgeklemmt, wobei die Tiere in leichter Äthernarkose keine Störung der Zirkulation oder Atmung erkennen liessen. Nach 10—30 Minuten wurde dann das Kammerwasser des einen Auges entnommen und die Karotiden für ebensolange Zeit wieder freigegeben. Darauf erfolgte die Entnahme des Kammerwassers der zweiten Seite. Unter 4 Versuchen zeigte dieses nur einmal eine eben merkbare ganz minimale Vermehrung des Eiweissgehaltes im Vergleich zum Kontrollauge (0,05 gegen 0,03 %), während bei den 3 andern beiderseits der Eiweissgehalt ein ganz gleicher und von normaler Höhe war. Es hat also die Verringerung der intraokularen Zirkulation nach Karotisabklemmung keinen schädigenden Einfluss auf die Gefässendothelien resp. die Epithelien der Ziliarfortsätze, wenn anders man letzteren überhaupt einen Einfluss auf die Qualität der Augenflüssigkeiten zuschreiben will. Es war nun naheliegend, auch die Regeneration der Vorderkammer nach Punktion unter der Wirkung der Karotisabklemmung zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurde nur einseitig abgeklemmt und beiderseits gleichzeitig punktiert. Der Erfolg war ein überraschender, denn es stellte sich die Kammer auf seiten der Karotisabklemmung viel langsamer her, und das nach ½ Stunde entnommene, an Menge geringere Kammerwasser enthielt in den extremsten Fällen nur zirka 0,1—0,2 % Eiweiss und gerann nicht, während das des Kontrollauges das übliche Verhalten nach Punktion zeigte. Freilich war der Ausfal des Versuches ganz entsprechend den Resultaten der Augendruckmessung ein graduell verschiedener. Der prinzipielle Unterschied gegen das Kontrollauge blieb indessen stets gewahrt. Auch die Eiweissvermehrung nach subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen wird durch Karotisabklemmung stets beträchtlich eingeschränkt.

Einseitige Karotisabklemmung verhindert also den Eintritt der

reaktiven Hyperämie nach Druckentlastung oder Reizen, und es wird Aufgabe einer besonderen Untersuchungsreihe sein, festzustellen, wie schnell sich dieser Zustand durch Ausbildung eines Kollateralkreislaufes ausgleicht. Übrigens fiel mir bei einseitiger wie doppelseitiger Karotisunterbindung, auch wenn die Augen palpatorisch weich wurden, der geringe Unterschied in der Füllung der Netzhautgefässe auf.

b) Einfluss der Stauung auf das Auge.

Als ich meine Experimente über die Wirkung der Stauung auf das Auge, über die ich an zwei Stellen[1]) in Form kurzer Mitteilungen berichtet habe, vor nunmehr zwei Jahren begann, waren in der Ophthalmologie noch keine praktischen oder experimentellen Versuche mit der Stauungshyperämie nach Bier gemacht worden. Inzwischen ist dies aber in verschiedenen Kliniken geschehen, und ich möchte daher erst kurz auf die Literatur, soweit sie für die uns hier interessierenden Fragen in Betracht kommt, eingehen. Was zunächst die Bindenstauung am Halse anbetrifft, so konnten weder Renner (43) noch Hoppe (24) noch Schirmer (49) beim Menschen eine Steigerung des intraokularen Druckes dabei beobachten, nur Schulze (49) gibt in einem Falle von extremer Bindenanziehung an, gleichzeitig mit Exophthalmus eine leichte Drucksteigerung bei einer Patientin gesehen zu haben. Experimentell am Kaninchen beobachtete derselbe Autor dagegen bei seinen unter Schirmers Leitung angestellten Untersuchungen eine mehr oder minder starke Tensionserhöhung, die bei schwacher Stauung ca. 4, bei stärkerer 20 mm Hg betrug und in einem Falle sogar nahezu 50 mm erreichte. Dabei trat bald wieder Absinken des Druckes, sogar unter den Anfangswert ein. Bisweilen, aber nicht regelmässig, wurde eine geringe Eiweissvermehrung im Kammerwasser (bis zu 0,06 %) sowie eine leicht hämolytische Wirkung desselben nach Vorbehandlung der Tiere mit Bluteinspritzungen gefunden.

Bei der Saugstauung beobachtete Halben (14) ein Weichwerden der Augen beim Menschen, so dass er sogar glaukomatöse Bulbi während kurzer Zeit weichsaugen konnte, während Hesse (22) im Tierversuch keine Druckänderung, dafür aber deutlich vermehrten Eiweiss- und Fluoresceinübertritt ins Kammerwasser feststellte.

---

[1]) Heidelberger Kongress 1906 und Berliner mediz. Gesellschaft, Sitzung vom 5. Dez. 1906.

Was nun zunächst meine Versuche über die Wirkung der Bindenstauung auf den Augendruck anbetrifft, so erstrecken sich dieselben auf 26 Kaninchen, 6 Katzen und 2 Hunde. Ich habe der Frage, wie weit die „Kopfstauung“ in der von Bier empfohlenen Weise zu einer intraokularen Drucksteigerung führen kann, aus leicht ersichtlichen Gründen eine so grosse Aufmerksamkeit zugewendet, denn es handelte sich hierbei ja nicht nur um Nachweis des Wertes oder Unwertes der Methode für die Ophthalmologie, sondern da dieselbe in der übrigen Medizin, vor allem in der Otiatrie ausgedehnte Verbreitung gefunden hat, so war es wichtig, festzustellen, ob irgendwelche Komplikationen von seiten des Auges dabei eintreten können.

Meine Versuche, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 66/67 zusammengestellt sind, sind mit ganz wenigen Ausnahmen, die daselbst eigens hervorgehoben sind, an curarisierten, künstlich ventilierten Tieren vorgenommen worden. Dies hat einen doppelten Vorteil. Erstlich können die Tiere nicht durch den Druck der Binde unruhig werden, womit unliebsame Blutdrucksteigerungen einherzugehen pflegen, zweitens lässt sich, wenn die Trachealkanüle nahe dem Sternum eingeführt wird, die Binde oberhalb dieser Kanüle anlegen, so dass jede Behinderung der Atmung, die andernfalls leicht eintritt und ebenfalls Versuchsstörungen hervorruft, ausgeschlossen ist. Auf diese Weise kann selbst recht starke Stauung ohne Störung angewendet werden. Um einen sicheren Anhalt dafür zu haben, ob der erwünschte Grad nicht überschritten, d. h. statt venöser Stauung eine arterielle Kompression hervorgerufen wurde, wurde stets gleichzeitig in das oberste Ende der Carotis communis eine Kanüle eingebunden, die zum Blutwellenschreiber führte. Zwischen Karotis- und Tracheal-Kanüle lagen die Gefässe natürlich nicht frei, sondern wurde die normale Topographie unverändert gelassen, da in dieser Strecke die Binde angelegt wurde. Bei Kaninchen bediente ich mich Binden aus nachgiebigem braunen Kautschuk, bei Katzen und Hunden festerer gewirkter Gummibänder.

Was zunächst die Wirkung am Kaninchen anbetrifft, so ist sie, wie aus der Tabelle hervorgeht, eine wechselnde. Der Blutdruck in der Karotis bleibt während der Stauung entweder unverändert oder er sinkt etwas, wie auch aus dem in Fig. 18 gewählten Beispiel hervorgeht. Das heisst nichts anderes, als dass bei derjenigen Stärke des Bindenzuges, die erforderlich ist, um am Auge eine Wirkung hervorzurufen, eine ganz leichte Kompression der Karotis doch nicht selten mit unterläuft. Sie ist aber so unbedeutend, dass eine Verringerung

der Pulsgrösse dabei nicht eintritt. Eine Blutdrucksteigerung sah ich nur einmal und zwar in ziemlich erheblichem Grade bei Kaninchen 23.

Der Augendruck lässt nun fast immer eine im Momente der Bindenanziehung einsetzende Steigerung erkennen, jedoch in sehr verschiedenem Grade, und zwar habe ich dabei die Beobachtung gemacht, dass sie bei kleinen Tieren relativ geringer ausfällt als bei grossen. Es sind deshalb die Tiere, soweit ihr Gewicht bestimmt worden ist — bei den ersten Versuchen war dies noch nicht der Fall —, in der Tabelle nach ihrem Gewicht resp. ihrer Grösse geordnet. Gleichzeitig mit der Drucksteigerung tritt ein mehr oder minder ausgeprägter Exophthalmus ein und zwar ist auch dieser bei grossen Tieren unverkennbar stärker als bei kleinen, so dass die Vermutung eines Zusammenhanges zwischen Druckzunahme und Exophthalmus sehr nahe liegt.

Neben Narkoseart, Dauer der Stauung und Verhalten des Blutdruckes sind nun in der Tabelle vier Werte für den Augendruck angegeben und zwar erstens die Druckhöhe vor Anlegen der Binde, zweitens die höchste Steigerung nachher, drittens der Stand kurz vor und viertens derjenige kurz nach Abnahme der Binde.

Der Verlauf der Augendruckkurve ist nämlich, wenn auch nicht immer, so doch häufig derart, dass der Druck relativ schnell bis zu seinem höchsten Gipfel ansteigt und sofort wieder langsam absinkt, wobei er, je nachdem, wie lange man die Binde liegen lässt, schon vor Lösen derselben unter seinen ursprünglichen Stand heruntersinken kann. Im Moment der Bindenlösung fällt er dann noch weiter um eine verschieden grosse Strecke geradlinig herab. Fig. 18 (S. 68) gibt ein gutes Bild einer solchen Kurve, und zwar habe ich absichtlich einen Fall mit relativ starker Wirkung zur Reproduktion gebracht. Bei den geringeren Wirkungen finden wir häufiger nur im Moment der Bindenanziehung ein fast geradliniges Ansteigen und ebenso bei der Lösung ein entsprechendes Absinken um wenige Millimeter. Bei einzelnen Versuchen ist in der Tabelle auch ein primäres Sinken des Augendruckes notiert. Dies beruht natürlich auf Karotis-Kompression durch zu starke Anziehung der Binde, und es sind diese Versuche als fehlerhafte zu eliminieren. Mir passierte dies auffälligerweise gerade zweimal bei nicht curarisierten Tieren, und aus dem gleichzeitigen Verhalten des Blutdruckes hatte ich den Eindruck, als ob eine Vagusreizung dabei mit im Spiele sein könnte. Welchen Versuchsfehlern man übrigens an nicht curarisierten Tieren, zumal wenn man Blutdruckregistrierungen

Wirkung der Bindenstauung auf den Augendruck und den Blutdruck (Karotis).

	Tier	Grösse resp. Gewicht in g	Narkose	Dauer der Stauung	Verhalten des Blutdruckes	Höhe des Augendruckes in mm Hg: vor Anlegen der Binde	höchste Höhe nach Anlegen der Binde	vor Abnahme der Binde	nach Abnahme der Binde	Höhe der Drucksteigerung in mm Hg
1	Kaninchen	klein	Curare	1 Min.	unverändert	22	23	$22\frac{1}{2}$	$21\frac{1}{2}$	1
2	Kaninchen	klein	Curare	1 „	sinkt etwas	26	$26\frac{1}{2}$	26	25	$\frac{1}{2}$
3	Kaninchen	1800	Curare	2 „	desgl.	22	25	25	20	3
	„		„	3 „	desgl.	19	22	21	19	3
	„		„	4 „	desgl.	18	20	19	17	2
4	Kaninchen	1800	Curare	1 „	unverändert	16	19	$18\frac{1}{2}$	15	3
5	Kaninchen	1900	Curare	2 „	„	$25\frac{1}{2}$	28	25	23	$2\frac{1}{2}$
	„		„	6 „	„	21	23	22	20	2
6	Kaninchen	2000	Curare	6 „	„	18	26	24	17	8
	„		„	6 „	„	17	27	23	16	10
7	Kaninchen	2000	Curare	4 schwach	„	22	25	23	$20\frac{1}{2}$	3
	„		„	5 stärker	„	19	33	$27\frac{1}{2}$	18	14
8	Kaninchen	mittel	Curare	1 Min.	sinkt etwas	25	30	29	24	5
	„		„	$\frac{1}{2}$ „	desgl.	22	28	28	21	6
9	Kaninchen	mittel	Curare	1 „	desgl.	24	29	28	22	5
10	Kaninchen	mittel	Curare	2 „	desgl.	22	22	22	22	—
	„		„	5 „	desgl.	22	22	22	22	—
11	Kaninchen	2000	ohne Curare	10 „	unverändert	$18\frac{1}{2}$	$19\frac{1}{2}$	18	$16\frac{1}{2}$	1
12	Kaninchen	2100	Curare	5 „	sinkt etwas	15	17	$16\frac{1}{2}$	14	2
13	Kaninchen	2300	ohne Curare	5 „	sinkt stark (um ca. 50 mm)	27	21	21	28	(— 6)
14	Kaninchen	2500	Curare	7 „	sinkt eine Spur	25	31	27	22	6
15	Kaninchen	2500	Curare	6 „	sinkt etwas	22	25	25	20	3
16	Kaninchen	2500	Curare	5 „	desgl.	$22\frac{1}{2}$	24	23	$22\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
	„		„	5 „	desgl.	22	$24\frac{1}{2}$	24	$21\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$
17	Kaninchen	2400	Curare	3 „	desgl.	18	21	$21\frac{1}{2}$	17	3
18	Kaninchen	gross	Curare	2 „	Pulse kleiner, sonst unverändert	16	27	25	18	9
19	Kaninchen	gross	Curare	4 „	unverändert	20	23	21	17	3
	„		„	4 „	„	16	21	20	15	5
20	Kaninchen	2600	ohne Curare	1 „	Blutdruck sinkt (Karotis komp.)	35	18	18	35	(— 17)
	„		„	1 „	steigt ganz unregelmässig	35	35	40	30	5
	„		„	5 „	desgl.	33	50	47	29	17
	„		„	6 schwächer	nur Zunahme der Atemschwankungen	23	20	20	25	(— 3)
21	Kaninchen	2600	Curare	6 Min.	sinkt etwas	25	32	23	17	7
22	Kaninchen	2600	Curare	5 „	unverändert	33	50	47	29	17
	„		„	6 „	„	30	51	43	26	21
23	Kaninchen	2800	Curare	7 „	steigt um 25 mm	16	21	$18\frac{1}{2}$	15	5
	„		„	7 „	steigt um 30 mm	$15\frac{1}{2}$	20	$16\frac{1}{2}$	$14\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$

	Tier	Grösse resp. Gewicht in g	Narkose	Dauer der Stauung	Verhalten des Blutdruckes	Höhe des Augendruckes in mm Hg: vor Anlegen der Binde	höchste Höhe nach Anlegen der Binde	vor Abnahme der Binde	nach Abnahme der Binde	Höhe der Drucksteigerung in mm Hg
24	Kaninchen	sehr gross	Curare	5 Min.	sinkt etwas	17	20	18	15	3
	„	„	„	5 „	desgl.	15	19	18	15	4
25	Kaninchen	2900	Curare	15 „	unverändert	22½	31	18	15	8½
26	Kaninchen	2800	ohne Curare	1 „	sinkt etwas	27½	34	33	25	6½
	„		Curare	2 „	desgl.	25	33	29	22½	8
1	Katze	—	Curare	1 „	Pulse etwas kleiner, sonst unverändert	22	26½	25½	22	4½
	„	—	„	2 „	desgl.	22	24	24	22	2
	„	—	„	3 „	desgl.	23	27	27	23	4
2	Katze	—	Curare	3 „	steigt anfangs merklich	22	33	24	20	11
	„	—	„	2 „	unverändert	21	25	24	20	4
3	Katze	—	Curare	6 „	„	32	37½	37	32	5½
	„	—	„	4 „	Pulse etwas kleiner, sonst unverändert	29	35	34	28	6
4	Katze	—	Curare	5 „	steigt etwas	23	28	21	18	5
	„	—	„	6 „	desgl.	18	15½	15½	18	(—2½)
5	Katze	—	Curare	2 „	sinkt ganz wenig	19	24	21	18	5
	„	—	„	2 „	sinkt etwas	28	25½	25	25	(—2½)
6	Katze	—	Curare	5 „	unverändert	22	19	22	22	(— 3)
	„	—	„	6 „	„	21½	25	23½	21½	3½
1	Hund	—	Curare	5 „	steigt um 10 mm	30	32	28	27½	2
	„	—	„	5 „	desgl.	27	28	28	28	1
	„	—	„	5 „	desgl.	27	24½	22½	22½	(—2½)
2	Hund	—	Curare	4 lose	unverändert	27	28	28	27	1
	„	—	„	4 fester	„	27	29	29	28	2
	„	—	„	7 fest	„	27	32	32	28	5

unterlässt, gelegentlich ausgesetzt sein kann, zeigt ein Kurvenausschnitt von Kaninchen 20 in Fig. 19. Es trat dabei, ohne dass Atemnot an dem Tiere zu beobachten war und bei relativ unbedeutender Unruhe eine starke Steigerung des Augendruckes auf, von der man bei blosser manometrischer Messung, abgesehen von einigen stärkeren oszillatorischen Schwankungen, nicht hätte entscheiden können, wie weit man sie als direkte Folge der Stauung auffassen sollte. Die gleichzeitige Registrierung von Blut- und Augendruck liess indessen sofort den Zusammenhang zwischen beiden und damit den Versuch als unbrauchbar erkennen.

Fig. 18.
Kaninchen (Curare), Bindenstauung am Halse während 6 Minuten. Rechte Karotis. Linkes Auge. ca. 1/3 natürl. Grösse.

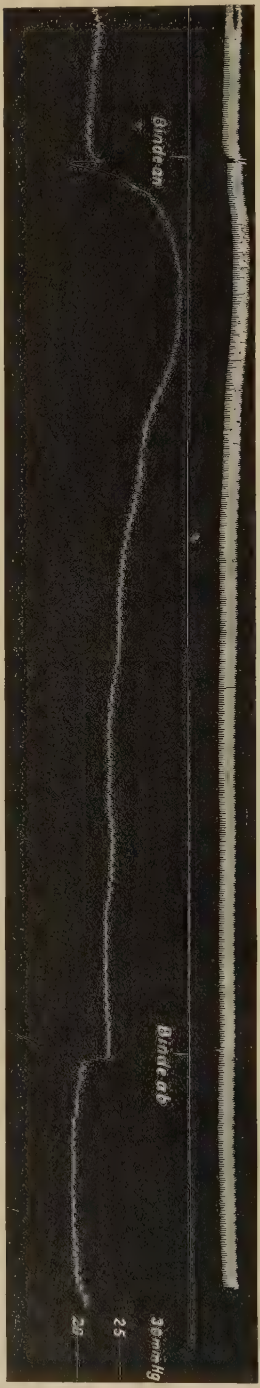

Fig. 20.
Katze (Curare), Wirkung der Halsbindenstauung auf den Druck in der rechten Karotis (oben) und im linken Auge (unten). Dauer der Stauung 2 Minuten. 1/2 natürl. Grösse.

In der letzten Kolumne der Tabelle sind die absoluten Werte der intrakoularen Druckzunahme bei der Bindenstauung noch einmal gesondert eingetragen, und es geht aus dieser Zusammenstellung hervor, dass die Drucksteigerung zwischen $^1/_2$ und 21 mm Hg differieren kann, und im Durchschnitt (natürlich unter Ausschluss der fehlerhaften Versuche) etwa nur 5 bis 6 mm beträgt. Habe ich demnach auch in der Mehrzahl der Fälle kleinere Werte erhalten als Schulze (l. c.), so sind doch prinzipielle Unterschiede in bezug auf Anstieg, Abklingen und Umfang der Wirkung im grossen und ganzen zwischen unsern Versuchen nicht vorhanden.

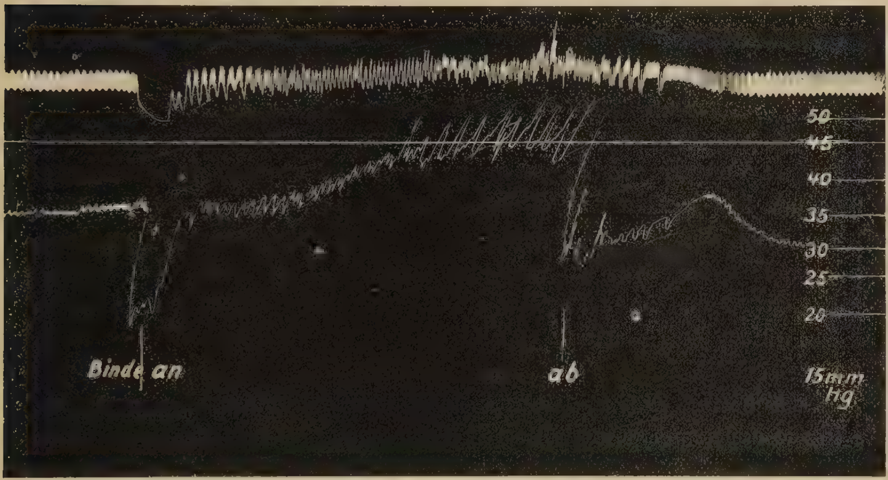

Fig. 19.
Zufällige Nebenwirkung der Bindenstauung auf Blut- und Angendruck am nichtcurarisierten Kaninchen. $^1/_2$ natürl. Grösse.

Bei Hunden und Katzen fällt die Wirkung, wie aus der Tabelle hervorgeht, noch geringer aus, wie bei Kaninchen, was ich auf das Ausbleiben von merklichem Exophthalmus zurückführe. Auch hier gebe ich in Fig. 20 die stärkste Wirkung, die ich bei der Katze erhalten habe, in Reproduktion wieder und zwar aus dem Grunde, weil man auch an dieser Kurve sieht, dass ein Teil (etwa $^1/_3$) der Augendruckerhebung auf gleichzeitige Blutdrucksteigerung zurückzuführen ist, also nicht im direkten Zusammenhange mit der Wirkung der Stauung aufs Auge steht.

Dass der Exophthalmus ausschlaggebend für die Stärke der Druckzunahme beim Kaninchen ist, dafür spricht, abgesehen von dem ungefähren Parallelismus beider Erscheinungen, das charakteristische schnelle Absinken des Augendruckes unter seine ursprüngliche Höhe herab. Denn ein solches Verhalten finden wir nicht bei inneren Hyperämien, wohl aber, wenn ein auf das Auge ausgeübter Druck nachlässt. Auch folgende Versuche scheinen mir die geäusserte Auffassung zu bestätigen.

Es wurde einerseits einem Kaninchen, andererseits einem Hunde eine kleine Glasglocke mit Kitt auf der enthaarten Umgebung des Auges luftdicht befestigt. Diese Glocke stand mit einem mit Luft gefüllten Mareyschen Tambour in Verbindung, der an der Kymographiontrommel schrieb. Es wurden also plethysmographische Kurven der Orbita und ihrer Umgebung aufgenommen. Es zeigte sich dabei beim Kaninchen jedesmal ein sehr beträchtlicher Ausschlag des Tambourhebels, sobald die Binde angezogen wurde, wobei gleichzeitig ein leichtes Vortreten des Auges in die Glocke zu beobachten war. Beim Hunde fiel dagegen der Versuch negativ aus. Letzteres steht in Einklang mit den plethysmographischen Versuchen, die Hoppe (24) an sich selbst angestellt hat, und bei denen er keine Volumenszunahme der Orbita und ihrer Umgebung bei der Stauung konstatieren konnte. Es spricht dies einerseits dafür, dass beim Kaninchen die Stauung hauptsächlich in der Orbita ihren Angriffspunkt hat, andererseits geht daraus hervor, dass in Hinblick auf die Verhältnisse beim Menschen die Versuche an Katzen und Hunden von grösserer Bedeutung sind als die an Kaninchen. Das gleiche werden wir später auch bei den Versuchen mit Saugstauung zu beobachten haben. Es kommt eben dem Kaninchen eine ganz ungewöhnliche Verschiebbarkeit und Dehnbarkeit des Orbitalinhaltes zu, die ja bekanntermassen auch das Luxieren des Auges gestattet.

Nach unseren Versuchen an Katzen und Hunden können wir aber sagen, dass selbst recht beträchtliche Bindenstauung keine erhebliche Steigerung des Augendruckes hervorruft, und dass also eine Gefährdung des Auges durch das Verfahren auch beim Menschen von dieser Seite kaum zu befürchten sein wird. In der Tat sind wohl auch Störungen an den Augen im Gefolge der Kopfstauung bisher noch nicht beobachtet worden.

Was die Wirkung der Bindenstauung auf den intraokularen Flüssigkeitswechsel anbetrifft, so kann ich mich hier kurz fassen, da ich das

Wesentliche schon bei den früheren Mitteilungen über diesen Gegenstand berichtet habe. Im grossen und ganzen ist das Ergebnis ein negatives, d. h. das innere Auge beteiligt sich entweder gar nicht oder in ganz minimalem Grade an der Hyperämie. Die entscheidenden Versuche scheinen mir hierfür diejenigen mit langandauernder Stauung zu sein, weil wir erst bei ihnen ein zuverlässiges Urteil über den richtigen Grad der Stauung gewinnen und zwar an dem entstehenden Ödem. Bei Kaninchen gelingt es nämlich nach einiger Übung relativ häufig, wenn auch nicht immer, einen solchen Grad von Stauung zn erzeugen, dass innerhalb 24 Stunden ein mächtiges Ödem der ganzen Kopfhaut entsteht, durch das der Kopf zu einer unförmigen Masse anschwillt. Das Ödem beginnt dabei und bleibt auch am stärksten am unteren Teil des Kopfes, besonders an den tieferen Teilen des Mundbodens. Hier ist es vor allem die Umgebung der Speicheldrüsen, die derart hydropisch gequollen ist, dass die Drüse makroskopisch stark vergrössert erscheint, während sich bei mikroskopischer Untersuchung ergibt, dass eine Auseinanderdrängung der eigentlichen Drüsensubstanz durch Transsudat nicht besteht, sondern nur das umgebende Bindegewebe entsprechend durchtränkt ist.

Es folgen dann an Stärke die Haut der Schnauze, die Lider und an letzter Stelle die Haut des Oberkopfes. Die Ohren sah ich merkwürdigerweise nie in merklichem Grade von Ödem betroffen. Auch die Conjunctiva bulbi beteiligt sich an den Erscheinungen mit mehr oder minder starker Chemosis, die sich besonders an der Membrana nictitans oft in sehr hohem Grade geltend macht. Ausserdem besteht ein starker Exophthalmus, der ebenfalls auf seröser Durchtränkung des Orbitalgewebes beruht, doch fand ich zuweilen nicht unerhebliche retrobulbäre Blutergüsse. Wegen des Exophthalmus muss man die Lider vernähen, da andernfalls eine Vertrocknung der Hornhaut erfolgt, die zu Reizzuständen und damit zu vermehrtem Eiweissübertritt ins Kammerwasser führt. Dass der Lidverschluss, durch den ja vielleicht bei dem bestehenden Exophthalmus ein gewisser Druck auf das Auge ausgeübt wird, keinen Versuchsfehler darstellt, geht daraus hervor, dass die Chemosis conjunctivae trotz der Vernähung sich in recht beträchtlichem Grade entwickelt. Untersucht man nun nach 24 Stunden, also zur Zeit der Höhe des allgemeinen Kopfödems, das Kammerwasser, so findet man in der Regel keine Differenz des Eiweissgehaltes gegenüber der am Tage zuvor vor Anlegung der Binde entnommenen Kontrollprobe. Dieses merkwürdige Verhalten, das in auffallendem Kontrast

zu dem ausserordentlichen Eiweissreichtum des subkutanen Transsudates steht, ist aus der umstehenden Tabelle zu ersehen. Aus derselben geht auch hervor, dass, wenn einmal eine geringe Differenz im Eiweissgehalt zwischen den beiden Proben des Humor aqueus bestand, dies meist gerade in den Fällen war, bei denen kein erhebliches Kopfödem entstanden war. (So z. B. im Falle 7, bei dem eine Eiweissvermehrung bis zu 0,09 % beobachtet wurde.) Etwas häufiger tritt eine geringe Eiweissvermehrung nach kürzerer Stauung auf. Ich habe hierbei Werte bis zu 0,06 % gefunden. Es steht dieser Befund in vollkommener Übereinstimmung mit dem von Schulze (l. c.) erhobenen, doch stellt er nach meinen Erfahrungen die Ausnahme dar. Auch können wir gerade bei kurzdauernder Stauung, bei der ja das Kriterium des Ödems fehlt, nicht beurteilen, ob der richtige Grad innegehalten wird, oder ob nicht eine im ersten Augenblick erfolgte Stauung wieder zurückgegangen ist. Hierdurch könnte der anfänglich auf das Auge von dem gestauten Orbitalinhalt ausgeübte Druck nachgelassen haben und dadurch eine vermehrte Eiweissausscheidung ins Kammerwasser bedingt sein. Finden wir doch nach Aussetzen eines längere Zeit auf das Auge ausgeübten Druckes jedesmal eine Eiweissvermehrung im Kammerwasser. Für eine solche Annahme spräche z. B. der Versuch 23, bei dem nach halbstündiger Bindenstauung das Tier wieder für ebenso lange Zeit freigegeben worden war, und dabei ein Albumengehalt von 0,1 % im Kammerwasser gefunden wurde. Der analoge Versuch 24 hatte freilich ein negatives Resultat.

Mögen also im einzelnen vielleicht noch Widersprüche aufzuklären sein, so scheint es mir nach den im wesentlichen übereinstimmenden Versuchsergebnissen von Schulze und mir und in erster Linie auf Grund meiner Versuche mit langedauernder, zu Kopfödem führender Stauung doch erwiesen, dass die Kopfstauung auf den intraokularen Flüssigkeitswechsel in keiner in Betracht kommenden Weise einwirkt.

Hiermit stehen auch meine Versuche an Katzen und Hunden in Einklang. Besonders letztere ergaben, wie aus der Tabelle erhellt, ein durchaus negatives Ergebnis, während bei den Katzen unter 4 Versuchen einer mit einer ganz ungewöhnlichen Eiweissvermehrung unterlief. Ich kann dies aber nur auf irgend einen Versuchsfehler — vielleicht war das Auge von vornherein gereizt — zurückführen. Übrigens gelingt es bei Katzen äusserst schwer, die Binde in genügendem Grade anzuziehen, ohne dass schwere Suffokationserscheinungen eintreten. Es wird bei diesen Tieren augenscheinlich sehr leicht die

Wirkung der Bindenstauung auf den Eiweissgehalt des Kammerwassers.

	Tier	Dauer der Stauung	Grad des Kopfödems	Eiweissgehalt des Humor aqueus in %	
				vorher	nachher
1	Kaninchen	24 Std.	mächtiges Ödem	0,03	0,03
2	„	24 „	kein Ödem	0,04	0,03
3	„	24 „	mässiges Ödem	0,025	0 04
4	„	24 „	starkes Ödem	0,025	0,03
5	„	12 „	starkes Ödem	0,03	0,02
6	„	12 „	kein Ödem	0,03	0,03
7	„	48 „	kein Ödem	0,025	0,09
8	„	24 „	mächtiges Ödem	0,02	0,03
9	„	14 „	kein Ödem	0,01	0,05
10	„	24 „	starkes Ödem	0,03	0,05
11	„	24 „	mächtiges Ödem	0,02	0,02
12	„	24 „	mächtiges Ödem	0,04	0,04
13	„	24 „	geringes Ödem	0,015	0,01
14	„	24 „	mächtiges Ödem	keine Kontrolle, da ein Auge zur anatomischen Untersuchung.	0,02
15	„	24 „	mächtiges Ödem		0,03
16	„	1/4 „	kein Ödem	0,03	0,04
17	„	1/4 „	kein Ödem	0,02	0,02
18	„	1/2 „	kein Ödem	0,03	0,03
19	„	1/2 „	kein Ödem	0,02	0,06
20	„	1/2 „	kein Ödem	0,03	0,05
21	„	1/2 „	kein Ödem	0,03	0,02
22	„	1 „	kein Ödem	0,015	0,015
23	„	1/2 „ dann 1/2 Std. frei	kein Ödem	0,025	0,1
24	„	1/2 Std., dann 1/2 Std. frei	kein Ödem	0,03	0,03
1	Katze	1/4 Std.	kein Ödem	0,04	0,04
2	„	1/2 „	kein Ödem	0,03	0,2
3	„	1/2 „	kein Ödem	0,03	0,03
4	„	1/2 „	kein Ödem	0,04	0,04
1	Hund	1/2 Std.	kein Ödem	0,015	0,02
2	„	12 „	kein Ödem	0,015	0,01
3	„	24 „	geringes Ödem	0,01	0,01

Trachea komprimiert, und längere Stauungsversuche sind deshalb bei ihnen überhaupt nicht auszuführen.

Anschliessend möchte ich erwähnen, dass ich eine Erweiterung der Netzhautvenen bei Kaninchen nur sehr selten, bei Katzen nie und bei Hunden relativ häufig beobachtet habe. Es ist dieses individuell

verschiedene Verhalten bemerkenswert, da auch beim Menschen eine Retinalvenenstauung von ebensovielen Beobachtern gesehen wie vermisst worden ist.

Mit den sämtlichen geschilderten Resultaten steht übrigens in gutem Einklang, dass ich bei Kaninchen nach Unterbindung der Venae jugulares externae in mehreren Versuchen weder eine Netzhautvenenerweiterung noch einen vermehrten Eiweissübertritt im Kammerwasser oder Drucksteigerung habe auftreten sehen.

Wenn wir uns fragen, wodurch die geringe Beteiligung des inneren Auges an der Stauung bedingt wird, während Lider, Bindehaut und Orbitalgewebe des Kaninchens in so hohem Masse durch sie beeinflusst werden können, so liegt es am nächsten, an den intraokularen Druck zu denken, der gewissermassen ein auf den Venen lastendes Gegengewicht darstellt. Vielleicht sind aber dabei auch noch andere, unserer Beurteilung einstweilen noch nicht zugängliche Momente im Spiele. Denn in der Schädelhöhle, die ja hinsichtlich des Gegendruckes ähnliche Verhältnisse aufweist wie das Auge, konnte Bier (6) eine erhebliche Drucksteigerung bei der Stauung nachweisen.

Was die Wirkung der Saugstauung auf das Auge anbetrifft, die ja von ausschliesslich ophthalmologischem Interesse ist, so ist nach dem Grundsatze: „Nil nocere“ wiederum die Beeinflussung des intraokularen Druckes das wichtigste Moment, denn von dieser Seite sind am ehesten Schädigungen des Auges durch das Verfahren zu befürchten.

Um die Wirkung auf den intraokularen Druck auch hier graphisch registrieren zu können, konstruierte ich mir folgenden in Fig. 21 abgebildeten Apparat:

Eine kleine Glasglocke, deren Ränder etwas ausgeschweift sind, um sich dem Orbitalrande der Tiere gut anzupassen, steht vermittelst eines T-Rohres mit einer Saugspritze und mit einem weitkalibrigen Quecksilbermanometer in Verbindung, und zwar sind die Grössenverhältnisse so gewählt, dass Luftverdünnungen, d. h. Unterdrucke bis zu — 100 mm Hg und mehr erzeugt werden können Durch eine zweite Öffnung der Glasglocke ist, in einem Kautschukstopfen luftdicht anschliessend, ein dünnes Glasrohr hindurchgeführt, dessen unteres Ende die Durchstichkanüle trägt, während das obere mit dem Registriermanometer in Verbindung steht. Auf diese Weise wird die Kommunikation zwischen Auge und Registrierapparat während der Ansaugung ungestört unterhalten. Selbstverständlich dürfen überall zur Verbindung nur dickwandige, durch die Ansaugung weder ausdehnbare noch zusammenfallende Schläuche gewählt werden, auch ist es erforderlich die Lider und die Um-

gebung des Auges sorgfältig mit Calciumsulfhydrat zu enthaaren und den Rand der Glocke mit etwas Kitt zu versehen. Das die Kanüle tragende Glasrohr muss, nachdem es vom Manometer aus gefüllt ist, erst soweit vorgeschoben

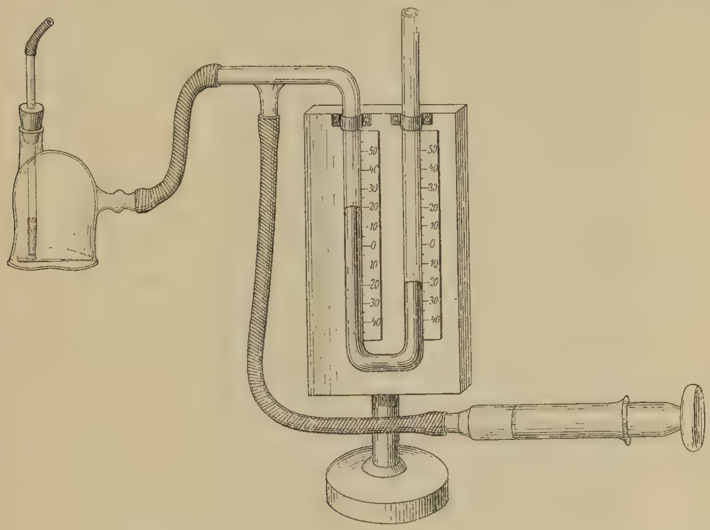

Fig. 21.

werden, dass die Kanüle bequem in die Vorderkammer eingeführt werden kann, und erst nachdem dies geschehen, wird die Glocke behutsam wieder herabgezogen, wobei der Kitt an die Haut angedrückt wird.

Mit diesem Apparat gelang es mir, in absolut zuverlässiger Weise den Augendruck für jeden Ansaugungsgrad zu bestimmen und ich gebe zunächst in Fig. 22 die Kurve eines solchen Versuches wieder.

Wie man aus derselben ersieht, bleibt der Blutdruck während der Ansaugung vollständig unverändert, was in allen meinen Versuchen gleichermassen der Fall war. Der Augendruck zeigt dagegen schon bei der ersten Ansaugung (um — 40 mm Hg) ein beträchtliches Ansteigen, das dann von Stufe zu Stufe bei vermehrter Ansaugung zunimmt, während sich bei gleichbleibender Luftverdünnung jedesmal die Tendenz zu einem langsamen Wiederabsinken geltend macht. Letzteres tritt stärker hervor, wenn man die Saugglocke längere Zeit liegen lässt. Besonders schön zeigt das Versuch 5, den ich deshalb in Fig. 23 (S. 78) in Form eines Diagramms wiedergebe, das nach der während der ganzen Versuchsdauer fortlaufenden Augendruckkurve konstruiert ist. Es handelt sich dabei um ein Kaninchen, bei dem von vornherein eine sehr starke Ansaugung (mit — 100 mm Hg) vorge-

Fig. 22.

Kaninchen (Curare). Wirkung der Saugstauung auf das Auge. Die Zahlen der Kurve geben den Grad der Saugung in mm Hg Unterdruck an. $^1/_2$ natürl. Grösse. Versuchsdauer 10 Min.

nommen worden war. Dabei schnellte momentan der Augendruckschreiber so in die Höhe, dass eine genaue Eichung nicht mehr erfolgen und nur festgestellt werden konnte, dass der Druck über 100 mm Hg gestiegen war. Darauf verminderte ich sofort die Ansaugung um 50 mm Hg, worauf der Augendruck auf 70 mm sank. In diesem Zustande liess ich nun den Versuch 15 Minuten weiterlaufen. Hierbei mag gleich bemerkt werden, dass bei dauernder Saugung dieselbe mit Hilfe des Manometers stets von Zeit zu Zeit reguliert werden muss, da ein gewisser Nachlass infolge Zunahme der Lidschwellung und des Exophthalmus eintritt auch wenn die Glocke vollkommen luftdicht schliesst. Unter dieser dauernden Saugung von — 50 mm Hg war nun, wie aus der Zeichnung S. 78 zu ersehen

ist, ein ziemlich schnelles Sinken des Augendruckes bis zu 45 mm Hg zu verfolgen. Dann wurde die Glocke geöffnet, und im gleichen Moment sank der Augendruck auf 12 mm, also weit unter seinen anfänglichen Stand herab. Dieses Sinken unter den Ausgangsdruck habe ich, wie aus der nachstehenden Tabelle hervorgeht, in der die genauen Zahlenwerte meiner sämtlichen Versuche wiedergegeben sind, mehrfach beobachtet.

Wirkung der Saugstauung auf den Augendruck.

	Tier	Ursprüngl. Augendruck	Augendruck in mm Hg bei einer Ansaugung von:									
			—20	—30	—40	—50	—80	—100	—50	—30	—15	0 mm Hg
1	Kaninchen	15	—	—	40	—	—	—	—	—	—	—
2	„	27	—	—	—	60	—	—	—	—	—	—
3	„	27	38	47	50	54	—	—	—	42	32	21/35
		35	45	48	50	56	—	—	—	45	34	25/27
4	„	17½	—	—	43	—	58	75	53	—	—	19/27
5	„	25	—	—	—	—	—	100	70	—	—	12
1	Hund	23	—	—	—	43	—	50	—	—	—	21
		21	—	—	—	38	—	48	—	—	—	17½
2	„	18	—	—	—	25	—	37	—	—	—	18
		18	—	—	—	27	—	38	—	—	—	18
		18	—	—	—	29	—	39	—	—	—	20
		20	—	—	—	29	—	41	—	—	—	20

In Fig. 22 kommt es nicht zum Ausdruck, da die Saugung zu kurze Zeit gewährt hatte, dagegen sind zwei weitere Eigentümlichkeiten der Augendruckkurve bei der Saugstauung dort sehr gut zu erkennen. Die eine besteht in dem ganz kurzen Heruntersinken des Schreibhebels im Momente der ersten Ansaugung, die andere in dem langsamen geradlinigen Anstieg der Kurve nach Aufhören der Saugung.

Die erste Erscheinung ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass im Augenblick der Ansaugung eine momentane Druckverminderung im Auge erfolgt. Müssen wir ja eine solche aus theoretischen Gründen eigentlich erwarten, da die Luftverdünnung eine Ausdehnung der Bulbuswandungen zur Folge haben sollte. Dennoch bin ich nicht ganz sicher, ob dem wirklich so ist, und zwar weil ich erstlich diese Hebelsenkung auch gelegentlich vermisst habe, zweitens weil mir der

Ausschlag zu gross erscheint, um mit der gegebenen Erklärung zu harmonieren [1].

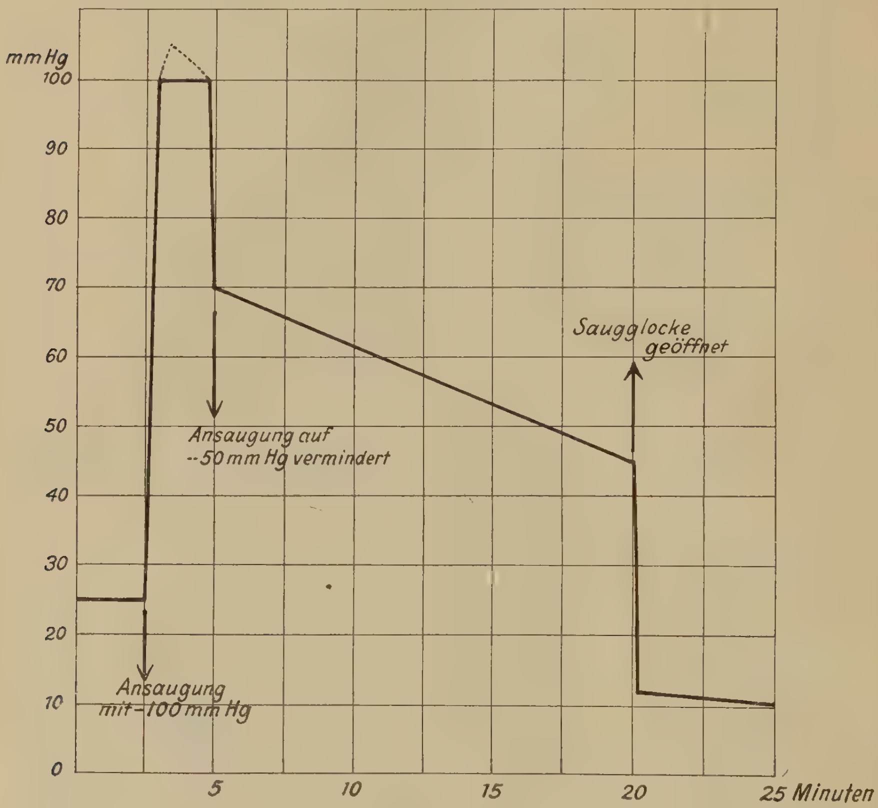

Fig. 23.
Wirkung starker langdauernder Saugstauung auf den Augendruck beim Kaninchen.

Indessen ist dieser Punkt von untergeordneter Bedeutung, da im Vordergrunde der Erscheinungen die ausserordentlich starke Steigerung des Augendruckes durch die Saugstauung steht. Diese ist zweifellos die Wirkung eines Druckes von hinten resp. eines Zuges von vorn. Dass sie theoretisch durch die Luftverdünnung an sich nicht erklärt werden könnte, wurde eben erwähnt. Aber man kann es auch direkt beobachten, wie während der Saugung das Auge

[1]) Umgekehrt tritt bei Herstellung eines Überdruckes in der Glocke stets erhebliche Tenisionszunahme im Auge auf.

beim Kaninchen in die Glocke hineingezogen wird, wie dann weiter die Lider und die Konjunktiva anschwellen und ein zunehmender Exophthalmus durch Protrusion des Orbitalgewebes entsteht. Kann es doch bei Steigerung der Saugung über — 100 mm Hg sogar zu hochgradigen subkonjuntivalen und retrobulbären Blutergüssen kommen. Es ist also sowohl der Zug von vorn als der Druck der anschwellenden umgebenden Weichteile, die die Steigerung des Augendruckes bei der Saugstauung bedingen. Daraus erklärt sich auch das nachfolgende starke Weichwerden des Bulbus, welches selbst beim Menschen beobachtet worden ist. Wir drücken eben das Auge mit der Saugstauung einfach weich. Mir scheint diese experimentelle Feststellung nicht unwichtig, da ohne dieselbe vielleicht mancher auf den Gedanken kommen könnte, die Saugstauung wäre ein besonders schonendes und physiologisches Verfahren, um erhöhte Tension im Auge zu verringern. Das kann man nach den geschilderten Versuchsergebnissen aber wohl kaum sagen.

Mit der gegebenen Erklärung steht übrigens auch in sehr gutem Einklang, dass bei Hunden, bei denen viel weniger leicht ein Exophthalmus entsteht, die Wirkung der Saugung auf den Augendruck, wie aus der Tabelle (Seite 77) hervorgeht, eine wesentlich geringere ist als beim Kaninchen. Immerhin ist sie auch hier noch so beträchtlich, dass ich nicht raten würde, beim Menschen sehr viel über — 20 mm Hg hinauszugehen. Es ist deshalb auch dringend zu empfehlen, bei etwaigen Versuchen am Menschen stets ein Manometer zur Kontrolle einzuschalten, da die direkte Ansaugung mit dem Gummiball, wie ihn die im Handel befindlichen Saugglocken besitzen, leicht viel zu hohe Grade erreicht.

Mit der geringeren drucksteigernden Wirkung der Saugung am Hunde hängt auch zusammen, dass das noch zu besprechende zweite Phänomen der Kurven, der langsame Anstieg nach Eröffnung der Glocke, hier ganz oder fast ganz fehlt. Dies führt uns auf das Verhalten der Augenflüssigkeiten bei der Saugstauung.

Schon Hesse (22) hatte eine Vermehrung des Eiweiss- und Fluosceinaustrittes bei Saugstauung am Kaninchen beobachtet. Ich kann dies durchaus bestätigen, indessen sind zur Erzielung eines starken Effektes doch schon die höheren Grade der Ansaugung erforderlich, wie aus nachstehender kleinen Tabelle hervorgeht.

Wirkung der Saugstauung auf den Eiweissgehalt des Kammerwassers.

Tier	Dauer und Stärke der Ansaugung	Eiweissgehalt in % am Versuchsauge	Eiweissgehalt in % am Kontrollauge
1. Kaninchen	1/2 Std. — 60 mm Hg	0,2	0,03
2. "	1/2 " — 50 " "	0,1	0,02
3. "	1/2 " — 50 " "	0,08	0,02
4. "	1/2 " — 100 " "	0,4	0,1
5. "	1/2 " — 60 mm Hg, dann 1/4 Std. offen.	0,5	0,2
1. Katze	1/2 Std. — 50 mm Hg	0,04	0,04
2. "	1/2 " — 100 " "	0,075	0,03
1. Hund	1/2 " — 50 " "	0,02	0,02
2. "	1/2 " — 100 " "	0,05	0,015

Wichtig ist aber, dass sich bei Katzen und Hunden überhaupt erst bei den höchsten zulässigen Ansaugungsgraden (— 100 mm Hg) eine Eiweissvermehrung bemerkbar macht und dass bei — 50 mm Hg dieselbe noch vollständig fehlt. Bei den am Menschen in Frage kommenden Graden der Saugstauung ist demnach eine Beeinflussung des intraokularen Flüssigkeitswechsels wohl nicht zu erwarten,

Von besonderem Interesse ist ferner, dass beim Kaninchen (vergl. Versuch 5 der Tabelle) die Eiweissvermehrung viel stärker ausfällt, wenn man nach Wegnahme der Glocke noch einige Zeit vergehen lässt. Dies steht in vollständiger Übereinstimmung mit dem oben erwähnten (in Fig. 22 sichtbaren) langsamen Anstieg des Augendruckes nach Aufhören der Saugung und beides ist wohl nur ein Ausdruck der zunehmenden Hyperämie nach Nachlassen des auf das Auge ausgeübten Druckes, wie man ja durch starken mechanischen Druck jederzeit eine Eiweissvermehrung im Kammerwasser hervorrufen kann. Ich glaube deshalb, dass auch die qualitative Veränderung der Flüssigkeitsproduktion im Auge bei der Saugung nur die Folge des auf das Auge ausgeübten Druckes ist.

Bei den Versuchen 4 und 5 machte sich nun noch eine weitere seltsame Erscheinung geltend, nämlich eine Eiweissvermehrung auch im zweiten Auge (vergl. die obige Tabelle). Anfänglich vermochte ich mir dies durchaus nicht zu erklären, bis ich durch einen zufälligen Befund auf den, wie ich glaube, richtigen Weg geführt wurde. Ich beobachtete nämlich gelegentlich der Aufnahme einer Augendruckkurve

am Kaninchen, dass Druck mit dem Finger auf das eine Auge im andern ebenfalls eine Drucksteigerung hervorrief. Dieses seltsame Phänomen „sympathischer“ Tensionserhöhung habe ich später mehrfach wiedergesehen, und es beruht auf weiter nichts, als auf dem Umstande, dass bei Kaninchen die beiden Orbitae bisweilen miteinander kommunizieren. Die stets sehr dünne Scheidewand zeigt, wie ich mich an Schädeln überzeugen konnte, nicht selten eine Lücke. Demnach kann sich sehr wohl auch die Saugwirkung gelegentlich auf die andere Orbita ausdehnen.

Fassen wir nach alledem das praktische Ergebnis der Versuchsergebnisse der Stauungsversuche für die menschliche Therapie zusammen, so können wir sagen, dass die Bindenstauung vielleicht bei Orbitalaffektionen, die Saugstauung bei Erkrankungen der Lider, der Bindehaut und der Hornhaut Anwendung finden kann, dass dagegen zur Erzeugung einer inneren Hyperämie des Auges die erstere ein ungeeignetes, die zweite ein gefährliches Verfahren darstellt. Denn es tritt dabei eine nicht unbeträchtliche Tensionserhöhung mit nachfolgender Tensionsverminderung im Auge auf, ja es ist wahrscheinlich überhaupt erst der auf das Auge ausgeübte Druck die Ursache der entstehenden inneren Hyperämie.

Wirkung subkonjunktivaler Kochsalzinjektionen.

In früheren Untersuchungen[1]) habe ich den Nachweis geführt, dass subkonjunktivale Injektionen von 5 oder 10%igen Kochsalzlösungen in Menge von 1 ccm am Kaninchenauge eine ausserordentlich starke qualitative Änderung der Kammerwasserproduktion bedingen, derart, dass der Eiweissgehalt bis auf etwa 1% steigt und bei gleichzeitiger intravenöser Fluoresceininjektion der Farbstoff nicht nur aus der hyperämischen Iris in vermehrter Menge diffundiert, sondern nach etwa zwei Minuten auch aus der Pupille in dicken, sich anfangs hypopyonartig senkenden Massen austritt, die allmählich die ganze Kammer ausfüllen. Schwächere Lösungen wirken entsprechend weniger intensiv. Schon bei einer 4%igen ist ein merklicher Unterschied nachweisbar, bei einer 2%igen kann die Wirkung bereits recht gering sein und bei physiologischer NaCl-Lösung hört sie überhaupt auf. Ebenso verur-

1) Deutsche med. Wochenschr. 1903 und Arch. f. experiment. Pathol. u. Therapie. Bd. 49.

sachen Lösungen anderer Kristalloide, je nach ihren osmotischen und spezifisch-reizenden Eigenschaften, verschieden starken Eiweissaustritt, worauf hier nicht nochmals näher eingegangen zu werden braucht.

Wie ich weiter zeigen konnte, ist mit der Eiweissvermehrung auch ein verstärkter Übertritt von Antikörpern verknüpft und zwar treten solche, die sich schon im Kammerwasser der normalen Augen immunisierter Tiere finden, wie die Typhusagglutinine in beträchtlich vermehrter Menge, die Hämolysine dagegen, die im normalen Humor aqueus selbst nach stärkster Immunisierung fehlen, überhaupt erst nach den subkonjunktivalen Injektionen oder analogen, zur Hyperämie führenden Reizen über. Diese Befunde sind inzwischen mehrfach gelegentlich von Untersuchungen von Römer (45), Schirmer (46) und zur Nedden (38) bestätigt worden, so dass eine einzelne abweichende Angabe von Angelucci (3) vielleicht auf Zufälligkeiten beruht[1]. Es besteht auch heute noch der schon damals aufgestellte prinzipielle Satz in vollem Umfange zu Recht, dass das Auge auf jeden Reiz, also auch auf den entzündlichen, mit einer Hyperämie der das Kammerwasser absondernden intraokularen Gefässe antwortet, die zu einer vermehrten Eiweiss- und Antikörperausscheidung führt, und dass die subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen ein äusserst geeignetes Mittel darstellen, diese Reaktion, in der wir eine Art Schutzvorrichtung des Organismus erblicken können — es erfolnt ja die vermehrte Antikörperanhäufung an der Stelle des Bedarfs — künstlich zu erzeugen.

Es war deshalb nicht nur hinsichtlich ihrer therapeutischen Anwendung, d. h. in Hinblick auf etwaige schädliche Nebenwirkungen, sondern auch prinzipiell für die Wirkung jeglicher reaktiven Hyperämie am Auge wichtig zu untersuchen, wie die subkonjunktivalen Injektionen — gewissermassen als Paradigma für alle Reize — auf den Augendruck wirken.

Im folgenden soll zunächst nur von der Wirkung 5 und 10%iger Kochsalzlösungen gesprochen werden, und zwar kamen die Lösungen

---

[1]) Wenn die Vermehrung der natürlichen Bakteriolysine im Kammerwasser, die zur Nedden nach 10%igen Kochsalzeinspritzungen sah, keine sehr starke war, so ist das wohl auf den Umstand zurückzuführen, dass er frühestens drei Stunden nach der Injektion untersuchte. Auch die Beobachtung A. Lebers (33), dass schon nach Injektion physiologischer Kochsalzlösung eine geringe Zunahme des Antikörpergehaltes im Humor aqueus statt hat, scheint sich nach seiner eigenen Angabe, durch eine mechanische Reizung des Auges bei der von ihm geübten Art der Einspritzung zu erklären.

Fig. 24.

Kaninchen (Curare). Wirkung der subkonjunktivalen Kochsalzinjektion während 10 Minuten. $^2/_5$ natürl. Grösse.

Fig. 25.

Wirkung der subkonjunktivalen Kochsalzinjektion während 20 Minuten. $^2/_5$ natürl. Grösse.

in $^1/_2$—1 ccm zur Anwendung. Die Tiere wurden meist curarisiert, doch habe ich zur Kontrolle auch einzelne Versuche an nicht oder schwach curarisierten Kaninchen angestellt, wobei sich keinerlei Abweichungen ergaben. Entweder wurde der Blutdruck wieder in der Karotis der anderen Seite geschrieben, oder es wurden gleichzeitig die Kurven beider Augen aufgenommen, wobei am Kontrollauge mehrfach die gleiche Menge 0,8 %iger NaCl-Lösung subkonjunktival injiziert wurde. Ich möchte gleich bemerken, dass ich hierbei, abgesehen von dem nur im ersten Momente sich geltend machenden Druck durch die Flüssigkeitsmenge, niemals eine Veränderung des Augendruckes beobachtet habe. Es ist hiermit von neuem der Beweis für die Wirkungslosigkeit physiologischer Kochsalzlösungen erbracht. Die Wirkung der 5 resp. 10 %igen Lösungen ist dagegen eine sehr starke und absolut konstante.

Ich gebe zunächst zwei Abbildungen davon in Figg. 24 und 25. Die eine stammt von einem vollständig, die andere von einem nur ganz schwach curarisierten Tier, weshalb sich hier häufig Lidschläge als starke, und Augenbewegungen als kleinere Unregelmässigkeiten der Kurve markieren. Beide zeigen aber im übrigen ganz das gleiche Verhalten des Augendruckes, nämlich das sehr erhebliche und vollständig geradlinige Ansteigen der Kurve, wobei das allmähliche Grösserwerden der Pulse selbst in der starken Verkleinerung der Reproduktionen zu erkennen ist. Dass der Druck des injizierten Flüssigkeitsquantums nicht Ursache der Augendrucksteigerung ist, geht aus den Kurven aufs deutlichste hervor, denn ein entsprechender Ausschlag lässt sich nur während der Injektion selbst erkennen. Wenige Sekunden nachher ist der Druck schon fast auf die alte Höhe wieder gesunken und erst nach etwa einer Minute beginnt der gleichförmige Anstieg. Die Blutdruckkurve zeigt dabei entweder gar keine Änderung, oder es tritt, wie z. B. in Fig. 24, infolge des sensiblen Reizes eine Steigerung ein, von der aber das weitere Ansteigen des Augendruckes, wie man sieht, unabhängig ist. Dieses dauert 10—15 Minuten fort, dann hält sich der Augendruck mehrere Minuten auf seiner Höhe, um alsbald wieder, allerdings in langsamerem Tempo, abzusinken. Der Beginn des Abstieges ist in Fig. 25 (bei der auf der Höhe der Augendruck in die Blutdruckkurve hineingeschrieben hat) bereits zu sehen. Sein weiterer Verlauf erhellt aus den Diagrammen Fig. 26 u. 27 (S. 85 u. 93), die nach den während $2^1/_2$ und 2 Stunden ununterbrochen aufgenommenen Augendruckkurven konstruiert sind.

Hierbei zeigt sich, dass der Druck erst schnell, dann immer langsamer und langsamer absinkt und schliesslich unter seine ursprüngliche Höhe heruntergeht. Dies ist aber noch nicht ohne weiteres dafür beweisend, dass diese Drucksenkung eine Spätfolge der Hyperämie ist, denn auch der Druck im andern Auge sinkt während der gleichen Zeit. Es beruht dies auf dem schon an früherer Stelle erwähnten Übelstand, der sich leider bei allen langdauernden Versuchen geltend macht, dass die Curarisierung allmählich zu einer Blutdrucksenkung führt. Ich möchte deshalb in meinen Versuchen keinen Beweis für die von Schirmer (46) festgestellte Tatsache erblicken, dass längerdauernde Hyperämie zu einer allmählichen Tensionsabnahme führt. Denn wenn Schirmer dies unter anderem auch nach Kochsalzinjekti-

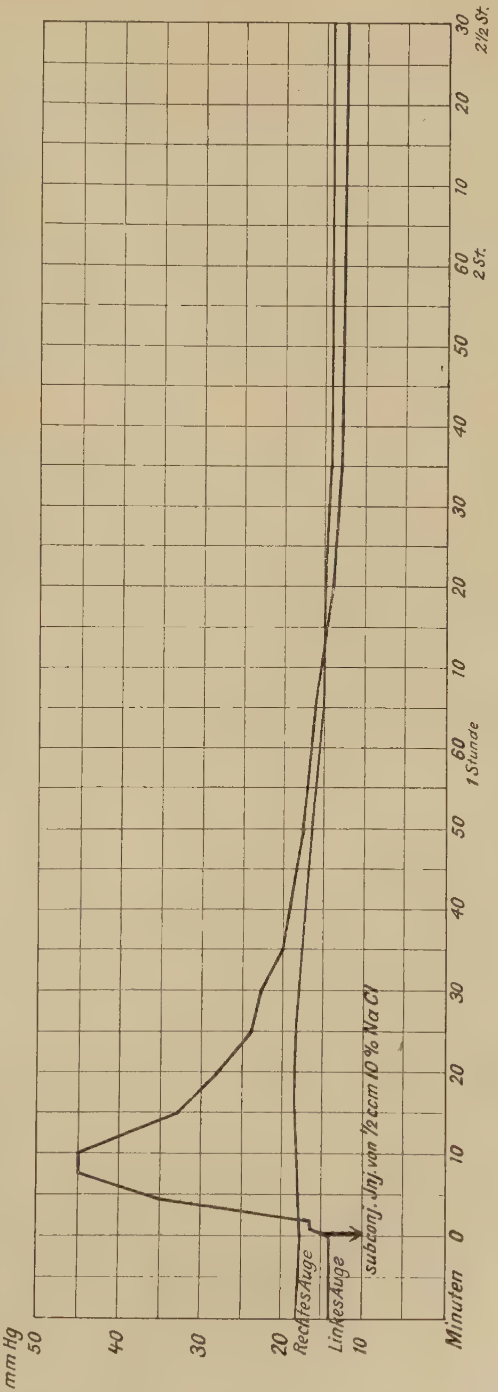

Fig. 26.
Wirkung einer subkonjunktivalen Kochsalzinjektion am linken Auge. Rechtes Auge normal, ohne Kontrolinjektion von physiol. NaCl-Lösung.

onen beobachtet hat, so kann dies gerade hier vielleicht auf anderen Momenten beruhen, da die Hyperämie, wie wir sehen werden, relativ schnell zurückgeht. Selbstverständlich soll damit das klinisch zweifellose Faktum, dass langdauernde Entzündungen häufig zu einer Tensionsverminderung führen, nicht im mindesten in Zweifel gezogen werden. Nur meine Augendruckkurven nach Kochsalzinjektionen vermögen innerhalb der begrenzten Zeit, auf die sie sich erstrecken, vorläufig noch keinen strikten Beweis dafür zu erbringen [1]).

In der folgenden Tabelle sind nun die hauptsächlichsten Augendruckwerte für meine sämtlichen Versuche eingetragen und zwar ist dabei der anfängliche Stand, die höchste Höhe und der Endstand nach Schluss des Versuches notiert.

Wirkung subkonjunktivaler Kochsalzinjektionen auf den Augendruck beim Kaninchen.

	Anfänglicher Augendruck	Menge und Konzentration der injizierten Lösung	Höchster Stand des Augendrucks	Erreicht nach — Min.	Stand des Augendrucks bei Schluss des Versuches	Zeitpunkt des Versuchsschlusses
1	24 mm Hg	½ ccm 5%	42 mm Hg	10 Min.	nicht weiter verfolgt	
2	18 „ „	1 „ 5%	63 „ „	16 „	10 mm Hg	2 Std.
3	18 „ „	½ ccm 10%	60 „ „	10 „	17,5 „ „	1 „
4	17 „ „	„	50 „ „	12 „	17 „ „	2 „
5	20 „ „	„	50 „ „	13 „	15 „ „	1½ „
6	17 „ „	„	45 „ „	10 „	15 „ „	1½ „
7	19 „ „	„	55 „ „	10 „	17½ „ „	2½ „
8	18 „ „	„	62 „ „	15 „	12 „ „	2½ „
9	14 „ „	„	45 „ „	8 „	12½ „ „	2½ „
10	17½ „ „	„	52 „ „	10 „	14½ „ „	1½ „
11	15 „ „	„	45 „ „	8 ?	nicht weiter verfolgt	
12	20 „ „	„	58 „ „	10 ?	„ „ „	
13	15 „ „	1 ccm 10%	70 „ „	10 ?	„ „ „	
14	20 „ „	„	78 „ „	10 ?	„ „ „	
	Nach vorheriger intravenöser Adrenalininjektion (1/20 mg):					
15	24 mm Hg	½ ccm 10%	34 mm Hg	10 Min.		
16	20 „ „	„	32 „ „	10 „		

[1]) Ich möchte an dieser Stelle bemerken, dass ich für die Versuche mit Kochsalzinjektionen relativ häufig Tiere genommen habe, bei denen der Augendruck von vornherein an beiden oder auch nur an einem Auge etwas niedriger als normal war. Denn während dadurch diese Tiere für die Mehrzahl der anderen Experimente unbrauchbar gewesen wären, konnten sie für die Versuche

Wie man sieht, stimmen die Versuche, sowohl was den zeitlichen Verlauf als was die absoluten Höhen anbelangt, fast vollständig miteinander überein. 1 ccm 5 %iger NaCl-Lösung wirkt etwa ebenso stark wie ½ ccm 10 %iger, während bei 1 ccm der letzteren Lösung erheblich höhere Werte erzielt werden. Es sind dies überhaupt ziemlich die höchsten Augendrucke, die ich an Kaninchen beobachtet habe. Versuch 11—14 wurden nicht länger als bis nahezu zum Kulminationspunkt beobachtet, weil sie zu weiteren, später zu beschreibenden Versuchen dienen sollten. Versuch 15 und 16 zeigen die erheblich verminderte Wirkung nach intravenösen Adrenalininjektionen und illustrieren damit die schon an früherer Stelle (Seite 47) besprochene vasokonstriktorische Wirkung des Adrenalins auch bei intravaskulärer Applikation.

Betrachtet man die gesamten Veränderungen des Augendruckes nach subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen, so ist die auffälligste Erscheinung zweifellos der vollständig geradlinige Anstieg der Kurven. Denn es ist auf den ersten Blick schwer zu verstehen, wie eine innere Hyperämie, auch wenn sie allmählich zunimmt, ein so vollkommen gleichmässiges Wachsen der intraokularen Tension bedingen soll. Zwar sehen wir auch an der Iris, dass die Hyperämie sich erst innerhalb der ersten Minuten nach der Injektion vollständig entwickelt, und das gleiche gilt von der durch den Reiz entstehenden Miosis. Aber immerhin bleibt die Erscheinung befremdlich, und es musste der Versuch gemacht werden, zu einer genaueren Analyse derselben zu gelangen. Hierzu war es zunächst erforderlich, den zeitlichen Zusammenhang der Augendrucksteigerung mit den übrigen am Auge sich geltend machenden Erscheinungen, dem vermehrten Eiweiss- und Fluoresceinaustritt sowie den an der subkonjunktival injizierten Flüssigkeit sich markierenden Veränderungen zu bestimmen.

Wie ich schon gelegentlich meiner früheren Publikationen ausgeführt habe, ist es, um über die Wirkungsweise der subkonjunktivalen Injektionen ins Klare zu kommen, erstes Erfordernis zu wissen, welchen Veränderungen die eingespritzten Lösungen in der Bindehaut selbst unterliegen. Ich habe damals[1]) zeigen können, dass es gelingt, die Flüssigkeit am verbluteten Tier zu den verschiedensten

mit Kochsalzinjektionen noch ganz gut verwendet werden. Es soll dies nur erwähnt sein, da anderenfalls die niedrigen Ausgangswerte in den Kurven resp. in der Tabelle Befremden erregen könnten.

[1]) Archiv f. experim. Pathol. u. Therapie. Bd. 49.

Zeiten nach der Injektion so weit rein und in solcher Menge durch Anschneiden und Ausquetschen aus der Bindehaut zu entleeren, das eine ausreichend exakte Titrierung ihres Kochsalzgehaltes möglich ist. Sogar die Volumenszunahme der eingespritzten hypertonischen Lösungen liess sich dabei annähernd berechnen. Hierauf brauche ich indessen an dieser Stelle nicht nochmals einzugehen und beschränke mich auf Wiedergabe derjenigen Zahlen, die die Verdünnung einer subkonjunktival am Kaninchen in Menge von 1 ccm injizierten 5 und 20%igen Kochsalzlösung angeben.

Es wird aus einer 5%igen NaCl-Lösung in 5 Minuten eine 3,4%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 15 Minuten eine 2,4%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 25 Minuten eine 1,3%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 35 Minuten eine 1,0%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 45 Minuten eine 0,7%ige NaCl-Lösung
" " " " 20%igen " in 20 Minuten eine 9,0%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 30 Minuten eine 5,6%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 80 Minuten eine 2,2%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 120 Minuten eine 1,5%ige NaCl-Lösung
" " " " " " in 180 Minuten eine 1,15%ige NaCl-Lösung.

Wie man sieht, wird die subkonjunktival injizierte 5%ige Lösung schon in $^3/_4$ Stunden zu einer physiologischen. Bei der 2%igen dauerte es entsprechend länger. Ich habe nun weiter den Nachweis führen können, dass die Wirkung der Injektionen nicht etwa die Folge eines Eindringens von NaCl ins Innere des Auges ist, sondern nur die Folge des in der Konjunktiva erzeugten Reizes. Denn ich konnte vermittelst Titration des Kammerwassers zeigen, dass nach subkonjunktivaler Injektion von 5%iger Kochsalzlösung, der NaCl-Gehalt des Kammerwassers noch nicht erhöht gefunden wird, sondern dass sich

erst bei 20%igen Lösungen eine zuverlässig nachweisbare Vermehrung um etwa 0,1% zeigt, während andererseits der Kochsalzgehalt des Kammerwassers bedeutend stärker erhöht werden kann, ohne dass auch nur eine entfernt so starke Eiweissvermehrung im Kammerwasser auftritt.

Da diesen Versuchen für die ganze Frage der Wirkung der subkonjunktivalen Injektionen eine prinzipielle Bedeutung zukommt, in meinen früheren Publikationen aber nur kurz ihr Resultat mitgeteilt wurde, mag es gestattet sein, sie hier etwas ausführlicher wiederzugeben.

Was zunächst die Titrierung eines so kleinen Flüssigkeitsquantums, wie es das Kammerwasser darstellt, anbetrifft, so ist dieselbe sehr wohl möglich, wenn man sich geeigneter Kapillarpipetten bedient. Ich benutzte zu diesem Zweck eine Kapillarröhre von ca. 25 cm Länge, die 0,25 ccm fasste und in 125 Teile eingeteilt war. An dieser war die Punktionsnadel befestigt, so dass das Kammerwasser des luxierten Auges sich direkt in die Pipette ergoss. Es liess sich dabei seine Menge bis auf nahezu 1 cmm genau abmessen. Aus der Röhre wurde das Kammerwasser in kleine Bechergläser entleert, die ein wenig Aqua dest. enthielten und die Röhre mehrmals mit destilliertem Wasser nachgespült. Die Titrierung geschah wechselnd mit Höllensteinlösungen, von denen 2,5 oder 10 ccm 1 mg NaCl entsprachen, und wurde mit Büretten ausgeführt, die $^1/_{20}$ ccm mit Genauigkeit abzulesen gestatteten. Als Indikator wurde reinstes einfachchromsaures Kali benützt. Es tritt dann an Stelle der gelblich-milchigen Färbung die rote des Chromsilbers, und es ist dabei der Moment des Farbenumschlages sehr genau festzustellen. Zur Sicherheit titrierte ich in jedem Falle noch mit einer Kochsalzlösuug von 1 : 10000 zurück.

Auf diese Weise gelang es sehr gut, den Kochsalzgehalt des Kammerwassers festzustellen, und zwar bewegt sich derselbe am normalen Auge mit geringen Schwankungen um 0,7% herum. Wie nun aus nachstehender Tabelle hervorgeht, zeigen am lebenden Tier subkonjunktivale Kochsalzinjektionen von 5% noch keine Wirkung auf den NaCl-Titer des Kammerwassers, während derselbe bei 20%igen regelmässig um etwa 0,1% steigt. Bei gesättigter Kochsalzlösung sah ich ihn sogar auf 1% steigen, wobei eine beginnende Salzkatarakt entstand. Sehr interessant ist das Verhalten am toten Tier. Hier dringt nämlich, da die Verdünnung im subkonjunktivalen Gewebe durch den Blutstrom fehlt, schon bei 5%igen Lösungen relativ viel in die vordere Kammer ein, wir finden Werte bis zu 1,3%, die Augen werden weich und es tritt jedesmal eine Trübung der vorderen Kortikalis ein, die nach Entleerung der Kammer infolge von nachströmender Glaskörperflüssigkeit sich wieder aufhellt. Bemerkenswert ist, dass, wenn man den Tieren kurz vor der Tötung Fluorescein in die Blutbahn injiziert hat, am Auge mit der subkonjunktivalen Injektion merklich mehr Fluorescein in das Kammerwasser eintritt als am Kontrollauge. Es beruht dies aber wahrscheinlich nicht auf einer postmortalen Tätigkeit der Gefässe, sondern auf den veränderten Diffusionsbedingungen. Denn auch wenn ich in Dialysatorschläuchen Fluoresceinlösungen in physiologischer Kochsalzlösung einmal gegen gleichkonzentrierte, das andere Mal gegen hypertonische Lösungen diffundieren liess, war der Fluoresceinübertritt im letzteren Falle merklich stärker

Die Glaskörperflüssigkeit zeigte in vivo auch nach 20%igen Kochsalzinjektionen keine Erhöhung ihres NaCl-Titers.

NaCl-Gehalt des Humor aqueus in %
(durch Titrierung bestimmt).

1. Beide Augen normal:

	Tier I	Tier II
Links	0,68	0,75
Rechts	0,70	0,72

2. Rechts vor 1/2 Std. 1 ccm 5% NaCl-Lösung subkonj. injiziert:

	Tier I	Tier II	Tier III
Links	0,69	0,66	0,70
Rechts	0,67	0,70	0,72

3. Rechts vor 1/2 Std. 1 ccm 20% NaCl-Lösung subkonj. injiziert:

	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Links	0,74	0,79	0,73	0,74
Rechts	0,83	0,91	0,80	0,86

4. Rechts vor 1/2 Std. 1 ccm 33 1/3% NaCl-Lösung subkonj. injiziert

	Tier I	
Links	0,78	
Rechts	1,05	(Trübung der vorderen Kortikalis).

5. Am **toten** Tier rechts vor 1/2 Std. 1 ccm 5%iger NaCl-Lösung subkonjunktival injiziert:

	Tier I	Tier II	Tier III	
Links	0,7	0,73	0,63	
Rechts	1,3	1,16	1,3	(jedesmal Salzkatarakt).

NaCl-Gehalt des Corpus vitreum in %.

Rechts vor 1 Std. 1 ccm 20% NaCl-Lösung subkonjunktival injiziert:

Links	0,68
Rechts	0,66.

Die Versuche, den Kochsalzgehalt des Kammerwassers direkt zu erhöhen, wurden in folgender Weise vorgenommen:

Es wurden an Leberschen Durchstichkanülen kleine Glasampullen angeschmolzen, die in eine oben geschlossene Kapillare ausliefen. Nach Erwärmung wurden dieselben in 10, 20 und 33%ige NaCl-Lösung hineingelegt, wobei sie sich bei der Abkühlung zur Hälfte vollsogen. Zur besseren Sichtbarmachung war den Lösungen Fluorescein zugesetzt. Nun wurden die Kanülen in die vordere Kammer so eingeführt, dass sich ihre seitliche Öffnung in der Mitte der Kammer befand. Entweder hatte sich schon bei der Einführung ein kleines am Fluoresceingehalt kenntliches Tröpfchen dem Kammerwasser mitgeteilt, oder es wurde das geschlossene luftführende Ende der Kapillare zwischen den Fingern einen Augenblick erwärmt, worauf sofort ein Tröpfchen

des Inhaltes übertrat. Etwa 10 Minuten später wurde dann die Kanüle weiter vorgeführt, bis ihre Öffnung ausserhalb der Kammer lag, so dass nunmehr kein NaCl mehr weiter ins Kammerwasser diffundieren konnte. Verlust von Kammerwasser wurde dabei vollständig vermieden. Bei der 20- und 33 %-igen Lösung trat sofort Trübung der vorderen Kortikalis und Pupillenverengerung, bei der 10%igen nur letztere auf. 15—20 Minuten nach Beginn des Versuches wurde dann das Kammerwasser entnommen und ebenso wie das des Kontrollauges zur Hälfte zur NaCl-Titrierung, zur Hälfte zur Eiweissbestimmung benutzt. Es ergaben sich dabei folgende Resultate:

		NaCl-Gehalt des Kammerwassers in %	Eiweissgehalt des Kammerwassers in %
1. nach einem Tröpfchen	33 1/3 % NaCl	1,45	0,4
	Kontrollauge	0,75	0,04
2. „ „ „	20% NaCl	1,30	0,1
	Kontrollauge	0,69	0,02
3. „ „ „	10% NaCl	0,90	0,03
	Kontrollauge	0,75	0,03.

Wie man sieht, rufen also selbst Konzentrationen, die Salzkatarakt zur Folge haben, nur eine relativ geringe Eiweissvermehrung im Kammerwasser hervor, die in keinem Verhältnis zu der Wirkung der subkonjunktivalen Injektionen steht, während andererseits eine Erhöhung des NaCl-Gehaltes um 0,1%, wie wir sie bei 20%igen subkonjunktivalen Injektionen sehen, überhaupt noch keine Eiweissausscheidung bedingt. Desgleichen konnte ich durch Injektion von konzentrierten Salzlösungen in den Glaskörper, die natürlich sofortige schalenförmige Trübung der hinteren Kortikalis zur Folge hatte, eine Vermehrung des NaCl-Gehaltes im Kammerwasser um mehr wie 0,1% hervorrufen, ohne dass dabei eine merkliche Eiweissvermehrung auftrat.

Mit diesen Versuchen war mit Sicherheit bewiesen, dass es nicht das in's Innere des Auges eindringende NaCl, sondern nur der Reflex der in der Konjunktiva sich abspielenden Reizwirkung der subkonjunktivalen Kochsalzlösungen ist, der eine Hyperämie des inneren Auges hervorruft. Somit können wir aus der Verdünnung der subkonjunktivalen Lösungen auch auf eine entsprechende zeitliche Abnahme des Reizes schliessen.

Parallel zu diesen Untersuchungen musste deshalb noch eine zeitliche Tabelle des jeweiligen Eiweiss- und Fluoresceinübertrittes angelegt werden. Es wurde deshalb zunächst der Eiweissgehalt zu verschiedenen Zeiten nach subkonjunktivaler Injektion von 1 ccm 5%iger NaCl-Lösung untersucht. Das Resultat war folgendes:

5 Minuten nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5% NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 0,5%,

12 Minuten nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5% NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 1%,

15 Minuten nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5 % NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 1 %,
40 Minuten nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5 % NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 1 %,
1 Stunde nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5 % NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 0,9 %,
2 Stunden nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5 % NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 0,5 %,
3½ Stunden nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5 % NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 0,25 %,
5 Stunden nach der subkonj. Injektion von 1 ccm 5 % NaCl-Lösung findet sich im Kammerwasser ein Eiweissgehalt von ca. 0,1 %.

Der Eiweissgehalt beginnt also bereits etwa ¾ Stunden nach der Injektion wieder abzunehmen.

Die Fluoresceinuntersuchungen gaben nachstehendes Ergebnis:

Rechts subkonj. Injektion von 1 ccm 5 %iger, links von 1 ccm 0,8 %iger NaCl-Lösung. Intravenöse Fluoresceininjektion:

Tier I	8 Min. post injektionem	Links:	schmale Ehrlichsche Linie.
		Rechts:	Fluorescein aus der Pupille und der Iris in grossen Mengen.
Tier II	26 Min. „	Links:	schmale Ehrlichsche Linie.
		Rechts:	deutlich Fluorescein aus der Pupille, im ganzen vermehrter Fluoresceingehalt d. Kammer.
Tier III	1 Std. „	Links:	schmale Ehrlichsche Linie.
		Rechts:	kein deutlicher Fluoresceinaustritt ins Kammerwasser.
Tier IV	2 Std. „	Links:	deutliche Ehrlichsche Linie.
		Rechts:	verschobene Linie, sonst nichts.
Tier V	5½ Std. „	Links: Rechts:	beiderseits ganz gleichmässige Ehrlichsche Linie.
Tier VI	12 Std. „	Links: Rechts:	„ „ „
Tier VII	24 Std. „	Links: Rechts:	„ „ „

Wie man sieht, ist ein vermehrter Fluorescein übertritt ins Kammerwasser nur innerhalb der ersten halben Stunde nach der Kochsalzinjektion nachweisbar. Dann tritt sogar eher eine Verminderung gegenüber dem Kontrollauge auf, und man hat den Eindruck, als ob der Humor aqueus dickflüssiger wäre und dadurch die Diffusion beeinträchtigt würde (unregelmässige Form der Ehrlichschen Linie). Von der 5. bis 6. Stunde ab verhält sich das Auge wieder wie ein normales.

Vergleicht man nun die Verdünnung der subkonjunktivalen injizierten NaCl-Lösung und den zeitlichen Verlauf der Eiweiss- und Fluoresceinausscheidung untereinander und mit dem zeitlichen Verlauf der Augendrucksteigerung — alles wohlverstanden bei Anwendung von 5%iger Lösung —, so ist eine weitgehende Übereinstimmung nachweisbar. Der grösseren Übersichtlichket halber sind die Erscheinungen in Form von Kurven nebenstehend in Fig. 27 noch einmal zusammengestellt.

Wie man aus der Zeichnung sieht, beginnt der Augendruck etwa zu der

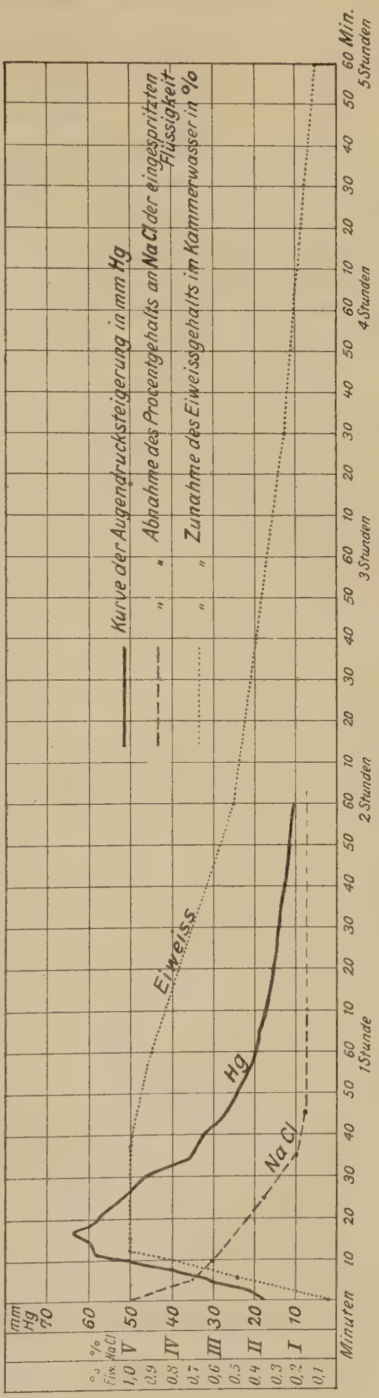

Fig. 27.

Verhalten des Augendruckes, des Eiweissgehaltes des Kammerwassers und der Verdünnung der subkonjunktivalen Flüssigkeit nach subkonjunktivaler Injektion von 1 ccm 5%iger NaCl-Lösung beim Kaninchen.

Zeit abzusinken, in der sich die unter der Konjunktiva befindliche Flüssigkeit dem Konzentrationsgrad nähert, bei dem ihre Reizwirkung erlischt. Denn wie an früherer Stelle erwähnt wurde, hört die Wirkung der subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen auf das innere Auge be Anwendung von Konzentrationen unter 2 % auf. Dass der Eiweissgehalt etwas später abnimmt, ist erklärlich, denn hier kann naturgemäss stärkster Grad der Eiweissausscheidung aus den Ziliarkörpergefässen nicht mit höchstem Eiweissgehalt des ganzen Kammerinhaltes zusammenfallen, da ja erst allmählich das alte eiweissarme Kammerwasser durch das neue eiweissreiche verdrängt wird. Immerhin ist auch hier die zeitliche Differenz keine sehr grosse, so dass wir jedenfalls sagen können, dass Augendrucksteigerung und qualitative Änderung der Kammerwasserproduktion in ursächlicher Abhängigkeit von den Veränderungen stehen, denen die subkonjunktivale Kochsalzlösung infolge des osmotischen Austausches mit dem Blute der Bindehautgefässe unterliegt. Dieser Austausch ist ein sehr schneller, wie wir denn überhaupt aus dieser Zusammenstellung ersehen, wie relativ kurz die Wirkungsdauer subkonjunktivaler Kochsalzinjektionen ist. Dies ist in Hinblick auf die therapeutische Wirkung der Injektionen von besonderer Bedeutung, zumal wir ja am menschlichen Bulbus relativ zu seiner Grösse viel geringere Quantitäten zu injizieren pflegen, als in meinen Versuchen am Kaninchen geschehen ist. Zwar könnten wir dies beim Menschen durch Erhöhung der Konzentration der Lösungen ausgleichen, da wir am Kaninchen gesehen haben, wie viel langsamer die Verdünnung einer 20 %igen Lösung vor sich geht als einer 5 %igen. Indessen überschreitet man ja erfahrungsgemäss in der menschlichen Therapie nicht gern die Konzentration von 5 %. Wir werden daher nicht fehlgehen, wenn wir annehmen, dass alle Wirkungen der subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen, wie wir sie in der Praxis anwenden, graduell geringer und zeitlich kürzer ausfallen, als wir sie in den Tierexperimenten festgestellt haben. Deswegen aber zu glauben, dass die Wirkung beim Menschen eine prinzipiell andere sein könnte, und den Experimenten eine geringe Bedeutung zukäme, erschiene mir durchaus falsch. Müssen wir doch auch sonst in der experimentellen Pharmakologie oft am Tier stärkere Wirkungen erzeugen als am Menschen angängig ist, um über die prinzipielle Wirkung eines Mittels oder eines Eingriffes ins Klare zu kommen. Dies gilt ebenso, ja eher noch mehr von den im vorigen Abschnitte geschilderten Versuchen über die Stauung, bei denen das am Menschen

zulässige Mass ja noch viel weitgehender überschritten wurde. Es sollte deshalb diese Frage von grundsätzlicher Bedeutung nicht unberührt bleiben.

Um aber auf den Ausgangspunkt der letzten Untersuchungsreihen zurückzukommen, so steht auf Grund der zeitlichen Übereinstimmung der in Fig. 27 graphisch dargestellten Vorgänge zunächst kein Hindernis der Annahme im Wege, dass die intraokulare Drucksteigerung nach den Kochsalzinjektionen ausschliesslich Folge der inneren Hyperämie des Auges ist.

Denn im vermehrten Fluorescein- und Eiweissaustritt haben wir ein zuverlässiges Diagnostikum für das Vorhandensein einer inneren Hyperämie des Auges und können demnach sagen, dass die Drucksteigerung jedenfalls nicht länger andauert als der abnorme Zustand der Gefässe. Ob kürzer, ist schwieriger zu entscheiden, da wir aus dem Eiweissgehalt des gesamten Kammerinhalts nicht entscheiden können, in welchem Moment die Absonderung von normalen Humor-aqueus wieder einsetzt. Nach den Fluoresceinversuchen scheint indessen dieser Moment nach etwa 1 Stunde erreicht zu sein, und es wäre das der gleiche Zeitpunkt, zu dem der Augendruck wieder auf seine alte Höhe zurückgekehrt ist.

Wenn ich trotz dieser frappanten Übereinstimmung mich nicht mit den bisher geschilderten Versuchen begnügt habe, so hat das darin seinen Grund, weil mir der völlig geradlinige Anstieg der Kurve ein zu seltsames Phänomen schien. Denn wie sollen wir uns vorstellen, dass eine Hyperämie so gleichmässig wächst? Viel näher musste der Gedanke liegen, dass eine gleichzeitige Vermehrung der Augenflüssigkeiten, d. h. eine schnellere Absonderung die Ursache dieser Erscheinung ist, ja manchem mag dies so selbstverständlich erscheinen, dass er sich vielleicht wundern wird, warum ich nicht von vornherein mit dieser Erklärung gerechnet habe. Dafür war aber für mich, abgesehen von dem bei dieser Deutung dann wieder sehr auffälligen schnellen Abfall des Druckes, das Ergebnis früherer Versuche ausschlaggebend gewesen, in denen ich keine Beschleunigung des intraokularen Flüssigkeitswechsels nach den Kochsalzinjektionen hatte nachweisen können.

Ich komme hiermit auf das Problem der pathologischen Beschleunigung und Verlangsamung, d. h. auf die quantitativen Veränderungen des intraokularen Flüssigkeitswechsels zu sprechen und muss dabei etwas ausführlicher auf die prinzipielle Seite dieser Frage eingehen,

die der experimentellen Lösung nahezu unüberwindliche Schwierigkeiten bereitet. So einfach es nämlich ist, am geöffneten, d. h. mit einem Manometer unter gleichbleibendem Druck (also am besten mit einem Filtrationsmanometer) in Verbindung stehenden Auge festzustellen, ob bei bestimmten Eingriffen eine Vermehrung oder Verminderung der Kammerwasserproduktion statthat, so schwer ist der analoge Nachweis für das geschlossene Auge zu führen. Dass die Verhältnisse im letzteren Falle nicht mit denen im ersteren gleichzusetzen sind, liegt auf der Hand. Denn das eine Mal ändert sich nur der Druck innerhalb der intraokularen Gefässe und der Augendruck bleibt konstant, während das andere Mal mit der Blutdruckänderung auch eine analoge Augendruckänderung einhergeht. Nun hängt aber die Menge der abgesonderten Augenflüssigkeiten nach unseren heutigen Kenntnissen ausschliesslich von der extra- und intravaskulären Druckdifferenz ab, und es wäre daher a priori nicht auszuschliessen, dass im geschlossenen Auge stets das gleiche Verhältnis zwischen beiden gewahrt bliebe. Nun kennen wir aber schon für das normale Auge die Differenz zwischen dem Blutdruck in den absondernden Kapillaren und dem Druck der Augenflüssigkeiten nicht genau. Denn der intraokulare Druck stellt zwar eine bekannte, der Kapillardruck aber nur eine ganz ungefähr abschätzbare Grösse dar. Um wieviel schwieriger wird die Frage daher für abnorme Füllungs- und Kontraktionszustände der intraokularem Gefässe! Hier fehlt uns überhaupt jeder Anhalt für die Beurteilung des in ihnen herrschenden Druckes. Denn auch unsere an früherer Stelle mitgeteilten Versuche über das Verhältnis zwischen intraokularen und intraarteriellem Druck können hier nicht in Frage kommen, da bei ihnen der Vergleich ja nur mit dem intraarteriellen Druck in der Karotis geführt wurde. Es wäre deshalb an sich nicht undenkbar, dass bei allen Änderungen des intravaskulären Druckes innerhalb des Auges, sei es durch aktive oder passive Hyperämie resp. Anämie oder durch Änderungen des allgemeinen Blutdruckes, infolge der parallel gehenden Tensionsänderungen des Bulbus die Differenz zwischen intra- und extravaskulärem Druck proportional die gleiche bliebe.

Zwar wissen wir, dass das Flüssigkeitsquantum, das in der Zeiteinheit das Auge auf den Abführwegen verlässt, bei niedrigem Druck ein geringeres, bei hohem ein grösseres ist, und könnten daraus schliessen, dass zur Erhaltung eines Gleichgewichtes zwischen Absonderungs- und Abflussmenge, auch das eine Mal weniger, das andere Mal mehr Flüssigkeit produziert werden müsse. Aber erstlich setzen wir dabei

das Erhaltenbleiben des Flüssigkeitsgleichgewichtes voraus, welches erst zu beweisen sein würde, zweitens wissen wir nicht, inwieweit sich nicht auch die abführenden Venen an den Druck- und Füllungsänderungen der Arterien beteiligen und dadurch wiederum die Exfiltration aus dem Auge beeinflusst wird. Freilich kann man vermuten, dass dies nicht in völlig proportionaler Weise der Fall sein wird, und ebenso sind exorbitante Störungen des Gleichgewichtes zwischen Zu- und Abfluss etwas Unwahrscheinliches, so dass anzunehmen ist, dass im allgemeinen bei Druckerhöhung in den intraokularen Gefässen eine Beschleunigung, bei Druckerniedrigung eine Verlangsamung des Flüssigkeitswechsels statthat. Ob dies aber mit Regelmässigkeit, und in welchem Umfange es zutrifft, das zu beurteilen sind wir auf Grund theoretischer Erwägungen ausserstande. Denn wir bewegen uns dabei in einem Kreise von unberechenbaren, sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren herum. Wir sind deshalb zur Beantwortung dieser Frage einzig und allein auf das Experiment angewiesen. Diesem stehen aber, wie gesagt, erhebliche Schwierigkeiten im Wege.

Dass zunächst Filtrationsversuche, wie sie z. B. Groenholm (10) bei der Untersuchung über die Wirkung des Eserins ausgeführt hat, für den vorliegenden Fall keine entscheidenden Ergebnisse liefern können, liegt auf der Hand. Denn bei ihnen dienen als Massstab für die jeweilige Grösse der Sekretion nur die Vergleichswerte der Einlaufsmengen am toten Tier. Ist dadurch schon für das normale Auge das Resultat bezüglich der Schnelligkeit der intraokularen Flüssigkeitsströmung ein anfechtbares[1]), so wird es für die uns interessierenden Fälle völlig wertlos, denn wir setzen den in vivo bei den verschiedenen abnormen Zirkulationszuständen voraussichtlich wechselnden Faktor der Abflussbedingungen in jedem Versuchsfalle der konstanten Grösse des Abflusses am toten Tier gleich, nehmen also in der Prämisse voraus, was erst zu beweisen sein würde.

Mir schienen deshalb nur folgende Wege gangbar zu sein, obschon auch sie nicht fehlerfrei sind:

Es sind im ganzen drei Fragen, die uns bei dem vorliegenden

1) Hierauf ist auch zurückzuführen, dass es möglich war, dass die Ansicht geäussert wurde (Weiss [54]), es bestände im normalen Auge überhaupt keine Flüssigkeitsströmmung. Es ist hier nicht der Ort näher auf die Begründung dieser Behauptung einzugehen und es mag nur bemerkt werden, dass Weiss es augenscheinlich übersieht, dass zwischen intraokularen Arterien und Venen und damit auch im Kammerwasser ein Druckgefälle herrschen muss.

Problem interessieren, nämlich 1. ob eine Beschleunigung sowohl der Zufuhr als auch der Flüssigkeitsabfuhr, d. h. eine schnellere Durchspülung der Vorderkammer bei der Hyperämie statthat, 2. wenn dieses nicht der Fall, ob dann wenigstens ein vermehrter Zufluss und 3. eine Zunahme des Kammerinhaltes nachweisbar ist. Denn, wie ersichtlich, braucht letzteres nicht unbedingte Folge einer Beschleunigung des intraokularen Flüssigkeitswechsels zu sein, wenn Zu- und Abströmen sich dabei genau die Wage halten.

Was die erste Frage anbetrifft, so schien mir die einzige Methode, um eine beschleunigte resp. verlangsamte Durchströmung des geschlossenen Auges nachzuweisen, die zu sein, indifferente Substanzen durch Diffusion in die Vorderkammer hineingelangen zu lassen und nun ihr allmähliches Ausscheiden aus derselben unter der Einwirkung der zu untersuchenden Eingriffe im Vergleich zum Kontrollauge zu beobachten Solche Versuche mit Diffusion von Ferrozyankaliumlösungen hatte ich schon gelegentlich meiner ersten Publikation über subkonjunktivale Kochsalzinjektionen (l. c.) kurz erwähnt.

Inzwischen hat Bosch (7) ähnliche Experimente mit Chlorlithion angestellt, um die normalerweise zur Regeneration der Kammer notwendige Zeit zu ermitteln. Doch scheint er, soweit aus dem Referate der mir im Original nicht zugänglichen Publikation ersichtlich ist, zu diesem Zweck den Termin des endgültigen Verschwindens der Substanz aus dem Kammerwasser bestimmt zu haben. Dies gibt aber natürlich keine brauchbaren Werte für die Schnelligkeit der Kammerwasserproduktion, da erstens die Diffusion dabei eine zu grosse Rolle spielt, zweitens der letztmögliche qualitative Nachweis der Substanz in keinem messbaren Zusammenhange mit der Menge des bis zu diesem Zeitpunkt neu in die Kammer zugetretenen Humor aqueus steht. Vielmehr können höchstens die Zeiträume, die erforderlich sind, damit sich eine bestimmte Konzentration einer fremden Substanz im Kammerwasser auf die Hälfte, ein Viertel usw. verdünnt, einen ungefähren Aufschluss über die Strömungsgeschwindigkeit im Kammerwasser geben. Denn es schiebt ja nicht die neu zutretende Flüssigkeit die alte vor sich her, sondern vermischt sich mit ihr. Es lässt sich dabei, wenn wir annehmen, dass die Flüssigkeitsströmung so langsam vor sich geht, dass ein neu zugetretenes Flüssigkeitsteilchen sich durch Diffusion relativ schnell der ganzen Kammerwassermenge mitteilt, und daher von dem in jeder Zeiteinheit eintretenden Quantum in der nächstfolgenden Zeiteinheit bereits wieder ein entsprechender Bruchteil ausgeschieden wird, berechnen, dass nach Ablauf der Zeit, die zur Absonderung einer dem Kammerinhalte entsprechenden Flüssigkeitsmenge erforderlich ist, vom ursprünglichen Inhalte der Kammer etwa noch $^4/_{10}$, vom neuen $^6/_{10}$ vorhanden sein werden. Das heisst mit anderen Worten, dass, wenn der anfängliche Gehalt einer fremden Substanz im Kammerwasser auf $^4/_{10}$ des Anfangswertes gesunken ist, inzwischen eine Kammerwassermenge neu abgesondert worden ist, die zur einmaligen

Füllung der Kammer ausreichen würde. Selbstverständlich sind dies nur rechnerische Grenzwerte, denn wir wissen nicht, in welchem Verhältnis die Vermischungsgeschwindigkeit zwischen altem und neu zutretendem Kammerwasser zur Absonderungsgeschwindigkeit steht. Aber konstruieren wir aus den rechnerisch gewonnenen Werten die Verdünnungskurve, so stimmt sie in überraschender Weise mit dem tatsächlich zu ermittelnden Verlauf der Ausscheidung einer fremden, wenig diffusiblen Substanz im Kammerwasser überein, wie wir ihn z. B. an der Abnahme des Eiweissgehaltes nach subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen aus Fig. 27 ersehen können. Und zwar würde sich, da hierbei eine Zeit von 2 Stunden dazu erforderlich ist, damit der Eiweissgehalt von 1 % auf 0,4 % sinkt, ergeben, dass zur Produktion einer dem Kammerinhalt entsprechenden Flüssigkeitsmenge etwa 2 Stunden erforderlich sind. Selbstverständlich will ich auf den absoluten Wert dieser Zahl, da es sich um abnormen Inhalt, sowie überhaupt um einen abnormen Zustand des Auges nach den Kochsalzinjektionen handelt, kein grosses Gewicht legen. Immerhin spricht der Befund, wie ich schon an anderer Stelle kurz erwähnt habe[1]), dafür, dass die Flüssigkeitsströmung in der Kammer eine ausserordentlich langsame ist. Vor allem war es mir aber bei diesen hier eingeschalteten Erörterungen darum zu tun, die prinzipiellen Grundlagen derartiger Versuche über den zeitlichen Verlauf der Ausscheidung fremder Substanzen aus der Vorderkammer klarzulegen, da dieselben mehrfach falsche Beurteilung gefunden haben und unzulässige Schlussfolgerungen aus ihnen gezogen worden sind.

Auch für den uns im Augenblick interessierenden Zweck habe ich nach dem Gesagten nicht den Zeitpunkt des Versagens des Nachweises der Substanz im Kammerwasser verwendet, zumal im Vergleich zur relativ kurzen Wirkung der Kochsalzinjektionen hierbei die Zeiten zu lange geworden wären, sondern habe bereits nach $^1/_4$—1 Stunde das Kammerwasser des Versuchsauges mit dem des Kontrollauges verglichen. Die Anordnung der Versuche war dabei folgende: Die Kaninchen wurden mit dem Rücken nach unten aufgebunden, die Lider einschliesslich der Palpebra tertia durch Fäden auseinandergehalten und der Kopf so weit in eine kleine Wanne mit körperwarmer Fluorescein- oder Ferrozyankaliumlösung eingetaucht, dass beide Augen vollständig von Flüssigkeit bedeckt waren. Von der ersteren Substanz wählte ich Lösungen, die zwischen $^1/_{10}$ und 1 % lagen, bei der letzteren waren stärkere Konzentrationen (1—2 %) erforderlich. Nach $^1/_2$ stündiger Einwirkung wurden die Konjunktivalsäcke an beiden Augen sorgfältig mit körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung ausgespült und dann einerseits eine 5—20 %ige, andererseits eine 0,8 %ige NaCl- Lösung in Menge von 1 ccm subkonjunktival injiziert. Nach $^1/_4$—1 Stunde wurde

1) Ergebnisse der Physiologie 1905.

dann beiderseits das Kammerwasser entnommen. Freilich kommt auch bei diesen Versuchen die Ausscheidung der Substanzen durch Diffusion als Fehler in Betracht, doch konnte dadurch höchstens am NaCl-Auge infolge der Hyperämie der Irisgefässe eine beschleunigte Ausscheidung erfolgen. Ein viel schwerwiegenderer Mangel der Versuche liegt darin, dass schon von vornherein nicht immer gleichviel in die vordere Kammer hinein diffundiert ist. Dies liegt daran, dass zu einer stärkeren Diffusion in die Vorderkammer eine gewisse Läsion des Hornhautepithels erforderlich zu sein scheint. Wenigstens zeigt sich die Kornea bei den Fluorescein-Versuchen, oder wenn man nach der Ferrozyankalium-Einwirkung ein Tröpfchen Fluorescein in den Bindehautsack einträufelt, in grösserer oder geringerer Ausdehnung grün gefärbt, und man kann schon hieraus ersehen, dass der Gehalt der Kammer an der betreffenden Substanz an beiden Augen fast nie ganz der gleiche ist. Lösungen schwächerer Konzentration, die diese Reizwirkung nicht ausüben, dringen nicht in genügender Menge in die Vorderkammer ein. Dass die Reizung sich jedoch dabei nicht in einem in Betracht kommenden Grade in die Tiefe fortpflanzt, davon konnte ich mich an dem normalen oder nahezu normalen Eiweissgehalt des Kammerwassers hinterher überzeugen. Ich habe nun diese Versuche in grosser Zahl angestellt, indem ich die Kochsalzinjektion bald an dem Auge machte, an dem nach der Fluoresceinfärbung der Kornea der stärkere Gehalt im Kammerwasser zu erwarten war, bald am anderen. Regelmässige Differenzen des kolorimetrisch verglichenen Gehaltes der beiden nachher entnommenen Kammerwasserproben kamen dabei weder nach der einen noch nach der andern Seite zur Beobachtung. Bei den Versuchen mit Ferrozyankalium besteht ein gewisser Übelstand noch darin, dass man zur Anstellung der Berlinerblau-Reaktion das Kammerwasser etwas ansäuern muss, wobei durch Eiweissausfällung leicht eine Trübung entsteht, die den kolorimetrischen Vergleich erschwert. Vorherige Enteiweissung so kleiner Flüssigkeitsmengen ist aber sehr schwierig. Muss ich nach alledem die Beweiskraft dieser Versuche auch sehr einschränken, so glaube ich doch, da Differenzen über das Verhältnis von 4:5 bei ihnen überhaupt nicht vorkamen und der geringere Gehalt durchaus nicht regelmässig auf seiten der hypertonischen Kochsalzinjektion lag, dass eine wesentliche Beschleunigung der Kammerdurchströmung selbst nach 20%igen Kochsalzinjektionen nicht statthat.

Hierfür sprechen auch noch zwei weitere mit Atropin angestellte Versuche, die in ihren Ausführungsbedingungen exakter, nur leider im

Nachweis wieder unzuverlässiger ausfielen. Es wurde dabei den Kaninchen an beiden Augen während $^1/_2$ Stunde alle 5 Minuten 2%ige Atropinlösung eingetropft und nach Ausspülung des Konjunktivalsackes 10 und 20%ige Kochsalzlösung einerseits subkonjunktival injiziert. Nach 20—30 Minuten wurde beiderseits das Kammerwasser entnommen. Dieses erzeugte, indem es anderen Kaninchen während $^1/_2$ Stunde in gleichmässigen Intervallen langsam eingetropft wurde, zu gleicher Zeit eine gleichstarke (nicht ganz vollständige) Mydriasis und zwar war jedesmal die allmähliche Einträufelung des ganzen Kammerwasserquantums dazu erforderlich. Also auch hier war eine beschleunigte Ausscheidung des Atropin aus dem Kammerwasser unter der Wirkung der Kochsalzinjektionen beide Male nicht nachweisbar.

Mit nicht geringeren Fehlerquellen hatten die folgenden Versuche zu kämpfen, die dem Zwecke dienten, nachzuweisen, ob, wenn auch keine beschleunigte Durchströmung der ganzen Kammer, so doch ein schnellerer Flüssigkeitszustrom von Ziliarsekret durch die Pupille bei den Kochsalzeinspritzungen erfolgt. Hierzu bediente ich mich der von Hamburger (16, 17) angegebenen Methode der Injektion eines kleinsten Tröpfchens Fluoresceinlösung in die Hinterkammer mittelst der Mikrospritze, und zwar verwendete ich 5—20%ige Fluoresceinkalium- oder 20—30%ige Uraninlösung. Diese Methode hat zwar, wie ich an anderer Stelle[1]) schon kurz mitgeteilt habe, den Fehler, dass man nicht genau weiss, an welcher Stelle sich das eingespritzte Fluorescein befindet, dass man es bisweilen nur in den Zonularaum oder sogar teilweise in die Linse einspritzt, wovon ich mich nach Einspritzungen von Berliner Blau mit der gleichen Methode sowohl makroskopisch wie mikroskopisch überzeugen konnte. Auch wären meine Versuche im Sinne Hamburgers eigentlich belanglos, da das lange Verweilen des Fluoresceins in der Hinterkammer nach ihm nicht auf der Langsamkeit des Flüssigkeitsstromes daselbst, sondern auf dem „physiologischen Pupillenabschluss" beruhen soll. Doch kann ich mich dieser seiner Auffassung nicht anschliessen, da zu viele andere Tatsachen gegen einen solchen Pupillarverschluss sprechen, auf die ich hier nicht nochmals einzugehen brauche. Etwas anderes ist aber noch mehr geeignet, diese Hypothese zu erschüttern, was ich bei meinen neuen Versuchen beobachten konnte, und deshalb hier erwähnen möchte. Der Hamburgersche Versuch an sich ruft nämlich einen gewissen Grad von

1) Ergebnisse der Physiologie 1905.

innerer Hyperämie des Auges hervor, der nach seiner Auffassung ausreichend sein müsste, den physiologischen Pupillenabschluss zu sprengen. Erstlich nämlich finden wir nach Ausführung des Versuches stets einen mehr oder minder vermehrten Eiweissgehalt im Kammerwasser (0,05—0,1, ja bis 0,2 %). Dann aber konnte ich, indem ich den gleichen Versuch mit der Mikrospritze mit Kochsalz- und Traubenzuckerlösungen anstellte, die noch längst nicht so stark hypertonisch waren, wie die von Hamburger benutzte 30 %ige Uraninlösung, ja sogar indem ich nur ein Tröpfchen physiologischer Kochsalzlösung in die Hinterkammer injizierte, unter gleichzeitiger intravenöser Fluoresceineinspritzung nachweisen, dass an dem Versuchsauge nicht nur an der Iris das Fluorescein in vermehrter Menge zur Ausscheidung gelangte, sondern dass es sogar sichtbar aus der Pupille hervortrat. Damit ist die Durchgängigkeit der Pupille auch im Hamburgerschen Experiment erwiesen, und das verschieden lange Zurückbleiben des Farbstoffes in der Hinterkammer kann kaum anders als mit dem im Einzelfalle nicht genau zu bestimmenden Wechsel der Applikationsstelle erklärt werden.

Trotzdem hoffte ich, dass wenn ich zahlreiche Versuche an beiden Augen von Tieren vornahm, bei denen einerseits 10 %ige Na Cl-Lösung entweder schon vorher oder nachher subkonjunktival injiziert wurde, ich durch Vergleich sämtlicher Resultate, ein Urteil über eine eventuelle Beschleunigung des Flüssigkeitsstromes in der Hinterkammer erhalten würde. Diese Hoffnung wurde auch nicht ganz getäuscht, wenn auch, wie die nachstehende Tabelle zeigt, die bis zum Austritt des Fluoresceins verstreichende Zeit eine so wechselnde ist, dass zuverlässige Vergleiche nicht möglich sind. Ich vermute, dass die ganz hohen Werte (bis zu 20 Minuten) darauf beruhen, dass das Fluorescein ausschliesslich in den Zonularaum oder den vordersten Glaskörperabschnitt injiziert war. Dennoch macht sich ein relativ häufiges früheres Austreten des Fluoresceins am Kochsalzauge geltend. Wahrscheinlicher wurde dies aber durch die direkte Beobachtung während der Versuche, die in diesem Falle mehr lehrte als die blosse tabellarische Zusammenstellung der Zahlen. Es war nämlich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle am Kochsalzauge ein anders geartetes Austreten des Farbstoffes aus der Pupille zu erkennen als am Kontrollauge. Während dort das Fluoresceïn nur punktförmig am Pupillarrande sichtbar wurde und sich bisweilen auch wieder zurückzog, trat es hier häufiger aber nicht immer, in Form einer dicken, sich der Schwere nach senkenden Linie

aus der Hinterkammer aus. Man konnte sich demnach dem Eindruck nicht entziehen, als wenn ein anders geartetes schnelleres Ausströmen einer spezifisch schwereren Flüssigkeit aus der Pupille erfolgte.

Austritt des Fluoresceins aus der Hinterkammer in die Pupille nach Injektionen mit der Mikrospritze (nach Hamburger).

	am normalen Auge		an dem unter der Wirkung einer subkonj. Injektion von $^1/_2$ ccm 10 % Na Cl-Lös. stehenden Auge
1.	nach 2 Minuten		nach 2 Minuten
2.	„ $4^1/_2$ „		„ 2 „
3.	„ 6 „		„ 1 Minute
4.	„ 7 „		„ 2 Minuten
5.	„ $8^1/_2$ „		„ 2 „
6.	„ >20[1]) „		„ 16 „
7.	„ 3 „		„ 3 „
8.	„ 1 Minute		„ 5 „
9.	„ 1 „		„ 14 „
		beide Augen unter	
10.	„ 1 „	Eserinwirkung	„ 1 Minute
11.	„ 14 Minuten	desgl.	„ 6 „
12.	„ $^3/_4$ Minute	desgl.	„ 1 Minute
13.	„ $1^1/_2$ Minuten	desgl.	„ >20[1]) Minuten
14.	„ 9 „	desgl.	„ 1 Minute
15.	„ 9 „	desgl.	„ $^1/_2$ „
16.	„ 5 „	desgl.	„ $6^1/_2$ Minuten
17.	„ 6 „	desgl.	„ 3 „
18.	„ 5 „	desgl.	„ 8 „
19.	„ 1 Minute	desgl.	„ 2 „
20.	„ 4 „	desgl.	„ 4 „
21.	„ 2 „	desgl.	„ 7 „
22.	„ $^1/_2$ Minute	desgl.	„ $^1/_2$ Minute
		nach Injektion in den Zonalraum	
23.	nach 5 Minuten		Kontrolle fehlt
24.	„ 4 „		nach 20 Minuten
25.	„ 8 „		„ 20 „
26.	„ 16 „		„ >25[1]) „

[1]) Das > Zeichen bedeutet, dass der spontane Austritt aus der Pupille nicht abgewartet wurde, sondern um zu kontollieren, ob die Injektion richtig

Beweisender sind vielleicht noch die Versuche 23—26, bei denen die Injektionen absichtlich in den Zonularaum resp. in den vordersten Glaskörperabschnitt gemacht worden waren. Hierbei trat zwar überhaupt nicht immer — selbst nicht regelmässig nach Punktion der Vorderkammer — Fluorescein aus der Pupille aus. Es sind deshalb nur die Fälle mit positivem Ergebnis in die Tabelle eingetragen. Bei diesen ist aber eine merkliche Beschleunigung des Austritts am Kochsalzauge doch nicht zu verkennen.

War es demnach durch die beiden geschilderten Versuchsreihen, wenn auch nicht sichergestellt, so doch wahrscheinlich gemacht, dass die Kochsalzinjektionen zwar keine wesentlich beschleunigte Durchströmung der Vorderkammer, wohl aber einen schnelleren Zustrom von Flüssigkeit aus der Pupille zur Folge haben, so musste sich als Notwendigkeit eine Vermehrung des Kammerinhaltes ergeben.

Um diese Probe auf das Exempel zu machen, war es erforderlich, ebenso wie es an früherer Stelle bei den Versuchen über Sympathikusreizung beschrieben wurde, den Augendruck im Tode zu messen. Zu diesem Zwecke wurde in fünf Versuchen der Augendruck an beiden Augen gleichzeitig geschrieben und einerseits ½ oder 1 ccm physiologischer, andererseits ½ oder 1 ccm 10%iger NaCl-Lösung subkonjunktival injiziert. Es sind das teilweise die in der Tabelle auf Seite 86 an letzter Stelle eingetragenen Versuche. Hatte der Augendruck auf dem Kochsalzauge nahezu den höchsten Stand erreicht, was nach 10—15 Minuten der Fall war, so wurde das Tier aus der Vena cava verblutet. Die hierbei sich ergebenden Druckwerte sind nachstehend wiedergegeben, wobei ausser dem Augendruck kurz vor und kurz nach der Verblutung mehrfach noch ein weiterer Wert eingetragen ist, der bei 3—5 Minuten später erfolgter nochmaliger Messung gefunden wurde.

Tier	Auge	subkonjunktival eingespritzte Lösung	Augendruck in mm Hg: vor der Verblutung	kurz nach vollendeter Verblutung	3—5 Minuten später
1. Kaninchen	links	½ ccm 0,8% NaCl	18	8	7
	rechts	½ ccm 10% NaCl	40	12½	10
2. „	links	½ ccm 0,8% NaCl	17	10	—
	rechts	½ ccm 10% NaCl	45	13	—

ausgeführt sei, die Vorderkammer punktiert wurde, worauf Ausströmen des Fluoresceins aus der Pupille erfolgte.

Tier	Auge	subkonjunktival eingespritzte Lösung	vor der Verblutung	kurz nach vollendeter Verblutung	3—5 Minuten später
3. Kaninchen	rechts	$\frac{1}{2}$ ccm 0,8% NaCl	18	9	—
	links	$\frac{1}{2}$ ccm 10% NaCl	58	15	—
4. „	links	1 ccm 0,8% NaCl	19	9	8
	rechts	1 ccm 10% NaCl	70	15	10
5. „	links	1 ccm 0,8% NaCl	20	9	8
	rechts	1 ccm 10% NaCl	78	$16\frac{1}{2}$	10

Aus diesen Versuchen ergibt sich in vollständig übereinstimmender Weise im Moment nach der Verblutung ein Überwiegen des Druckes am Kochsalzauge, und zwar ist der Unterschied kein unerheblicher. Mehrere Minuten später hat er sich allerdings meist schon fast ganz ausgeglichen. Dass dieser höhere Druck im Kochsalzauge etwa Folge eines in den hyperämischen Gefässen zurückgebliebenen grösseren Quantums Blut wäre, ist schwer zu denken. Denn wodurch sollte dieses Blut in den nächstfolgenden Minuten fast vollständig verschwinden? Auch ist es an sich bei Verblutung aus der Vena cava höchst unwahrscheinlich, dass eine erhebliche Blutmenge in den Gefässen zurückbleibt. Ebenso kann die in der Konjunktiva befindliche Flüssigkeit nicht die Ursache des erhöhten Druckes sein. Denn erstlich wurde stets am zweiten Auge zur Kontrolle physiologische Kochsalzlösung eingespritzt, und wenn auch die 10%ige Lösung inzwischen an Volumen zugenommen hatte, so haben wir doch aus den Kurven (S. 83) gesehen, wie gering die Wirkung der Flüssigkeitseinspritzung als solche auf den Augendruck überhaupt ist. Vor allem aber wäre auch hier der schnelle Nachlass des Druckes unverständlich.

Wenn wir uns nach weiteren Fehlerquellen umsehen, so könnte an die Nachdehnung der Sklera gedacht werden. Doch müsste hierdurch gerade der entgegengesetzte Effekt erzielt werden. Denn wenn sich die Bulbuswandungen nach erfolgter Dehnung durch den hohen Druck nicht sofort dem verringerten Inhalt anzupassen vermögen, so kann hierdurch nur eine zu starke Abnahme des intraokularen Druckes bedingt werden. Desgleichen könnte an eine Nachdehnung der Manometermembran gedacht werden. Diese würde in dem in Rede stehenden Sinne wirken, doch habe ich mich, indem ich sofort nach der Verblutung den intraokularen Druck auch direkt am Quecksilbermanometer kontrollierte, davon überzeugt, dass die mit dem Registrierapparat gemessenen Werte bis auf 1 mm genau stimmten. Es bleibt demnach

nur der Schluss übrig, dass sich infolge der Kochsalzinjektionen der Inhalt des Auges vermehrt hat, und zwar handelt es sich dabei, wenn wir in Betracht ziehen, dass innerhalb der Druckhöhen von 5—10 mm Hg etwa 5, zwischen 10 und 15 mm Hg 3 cmm erforderlich sind, damit der Augendruck um 1 mm Hg wächst, um Inhaltsvermehrungen, die zwischen 10 und 25 cmm liegen. Das sind nicht unbedeutende Mengen. Das darauffolgende schnelle Absinken des Druckes erklärt sich wohl ungezwungen aus einer weiteren Zusammenziehung der Sklera, durch die ein Teil der Augenflüssigkeit bald ausgepresst wird. Sehen wir doch auch am Kontrollauge schon innerhalb der wenigen Minuten nach der Verblutung jedesmal ein weiteres Sinken um 1 mm.

Es darf demnach durch die gesamten letzten Versuche wohl als festgestellt gelten, dass die Kochsalzinjektionen eine Vermehrung der intraokularen Flüssigkeitsproduktion bedingen, denen keine völlig entsprechende Verstärkung des Abflusses aus dem Auge gegenübersteht.

Hierdurch erklärt sich nun auch in sehr einfacher Weise die Erscheinung des geradlinigen Anstieges des Augendruckes. Denn wenn auf der langsamen Zunahme des Bulbusinhaltes natürlich auch nicht die gesamte Drucksteigerung beruht, so doch, wie sich rechnerisch aus der Grösse des Inhaltszuwachses leicht nachweisen lässt, ein nicht unbeträchtlicher Teil. Damit ergibt sich aber von selbst einmal die zeitliche Übereinstimmung mit der Hyperämie und der qualitativen Änderung der Flüssigkeitsproduktion, zweitens das allmähliche Anwachsen und Abfallen des Augendruckes, wie wir es an den Kurven beobachten konnten.

Was nun das Missverhältnis zwischen Zu- und Abfluss aus dem Auge anbetrifft, so läge es an sich nahe, dabei an den Faktor des vermehrten Eiweissgehaltes des Kammerwassers zu denken, der ja, wie Uribe y Troncoso (52) gezeigt hat, eine Verlangsamung der Exfiltration aus dem Auge zur Folge hat. Doch reicht diese Erklärung für unseren Fall nicht vollständig aus, denn wir sehen den Augendruck sich schon zu einer Zeit der normalen Höhe nähern, in der der Albumengehalt des Humor aqueus noch ein sehr beträchtlicher ist.

Es bleibt demnach kaum etwas anderes übrig, als anzunehmen, dass es sich um eine besondere, im einzelnen noch nicht näher zu übersehende Differenz zwischen der Flüssigkeitsproduktion und -abfuhr handelt, die der reaktiven Hyperämie eigen ist, und die wahrscheinlich auf den Druckverhältnissen innerhalb der Arterien und Venen beruht.

Jedenfalls haben uns die Untersuchungen über die Kochsalz-

injektionen gezeigt, dass dieselben eine starke, wenn auch schnell vorübergehende Drucksteigerung hervorrufen, die teils auf der Hyperämie an sich, teils auf der Ansammlung der in vermehrter Menge abgesonderten Augenflüssigkeiten beruht. Dies ist, zumal es aller Voraussicht nach auch von der entzündlichen Hyperämie, wenigstens für die Wirkung in ihrem Beginne, gilt, nicht ohne praktisches Interesse. Aber auch die andere Seite unserer Ergebnisse, dass die Kochsalzinjektionen nicht, wie man vermutet hatte, eine vermehrte Durchspülung der Vorderkammer zur Folge haben, jedenfalls nicht in bemerkenswerter Weise, sondern dass im Gegenteil eine Stockung der Abfuhr im Verhältnis zur Zufuhr eintritt, hat für unsere therapeutischen Vorstellungen Bedeutung. Damit soll natürlich nicht gesagt sein, dass die Versuche von Mellinger (37), der eine Beschleunigung der Resorption von Tusche in der Vorderkammer im Gefolge der Kochsalzinjektionen sah, im Widerspruch zu unseren Versuchsresultaten stehen. Denn diese Resorption kann natürlich auf der Hyperämie an sich oder ihren Folgezuständen beruhen, ohne dass dazu eine Beschleunigung der eigentlichen Flüssigkeitsströmung vorhanden zu sein braucht. Jedenfalls steht aber auch nach den jetzigen Versuchen die qualitative Änderung der Flüssigkeitsproduktion, vor allem die Vermehrung des Eiweiss- und Antikörpergehaltes, im Vordergrund der experimentell nachweisbaren Wirkungen der subkonjunktivalen Injektionen.

Werfen wir einen Blick auf die gesamten Untersuchungen zurück, so können wir sagen, dass sich mit Hilfe der neuen graphischen Registrierungsmethode und unter gleichzeitiger Untersuchung der qualitativen und quantitativen Veränderung der intraokularen Flüssigkeitsproduktion einmal für eine Reihe therapeutischer Eingriffe Ergebnisse haben gewinnen lassen, die für ihre praktische Anwendung, speziell für die Indikationen resp. Kontraindikationen derselben von Wert sind. Denn wenn sich auch immer die Kluft zwischen dem Ergebnis des Tierexperiments und der am Menschen zu beobachtenden Wirkung fühlbar machen wird, und schliesslich stets die praktische Erfahrung das letzte Wort zu sprechen hat, so glaube ich, bedeutet es doch einen Schritt in der Erkenntnis vorwärts, wenn wir beispielsweise bei Anwendung der Stauung am Auge nicht einfach von der „hyperämisierenden“ Wirkung, bei Kochsalzinjektionen von der „lymphtreibenden“ sprechen,

sondern die Wirkungen dieser Eingriffe zu analysieren vermögen. Ähnliches gilt von den Resultaten der Sympathikusdurchschneidung, der Karotisunterbindung usw., worauf im einzelnen hier nicht nochmals eingegangen zu werden braucht.

Aber auch in rein theoretischer Hinsicht haben sich einige neue Gesichtspunkte gewinnen lassen. So scheinen mir z. B., wenn ich auch, bevor meine Untersuchungen auf diesem Gebiete abgeschlossen sind, mit Schlussfolgerungen zurückhaltend sein möchte, die bisherigen Versuche gezeigt zu haben, dass es zwei in ihrer Wirkung auf den intraokularen Druck ganz verschiedene Formen von Hyperämie im Auge gibt. Die eine, als deren Prototyp die Vasodilatation nach Sympathikusdurchschneidung gelten kann, ruft keine merkliche Tensionserhöhung, sondern wesentlich nur eine Vergrösserung der Pulsvolumina im Auge hervor, die andere, die reaktive Hyperämie nach Reizen, hat eine sehr starke Drucksteigerung zur Folge, die teilweise auf Vermehrung des Augeninhaltes durch verstärkte Flüssigkeitsproduktion beruht, weshalb im Verhältnis zur Druckhöhe die Vergrösserung der Pulsvolumina relativ geringer ausfällt. Es liegt nahe anzunehmen, dass die Ursache dieser Verschiedenheit darin liegt, dass sich das eine Mal die Hyperämie gleichmässig auch auf die Venen ausdehnt, während sie sich das andere Mal mehr auf die Arterien und Kapillaren beschränkt. Mit beiden Arten der Hyperämie geht aber eine qualitative Veränderung der Kammerwasserproduktion einher und es scheint sich hierbei ausschliesslich um graduelle Unterschiede zu handeln. Wie weit das in jedem Falle zutrifft, das zu ermitteln muss allerdings noch Aufgabe weiterer Untersuchungen bleiben, die sich mit dem Einfluss geringgradigerer Reize auf Augendruck und intraokularen Flüssigkeitswechsel zu beschäftigen haben werden.

Vorstehende Untersuchungen wurden zum Teil in den physiologischen Universitäts-Instituten zu Berlin und Würzburg ausgeführt, wobei mir die Hilfsmittel der physiologischen Laboratorien in der entgegenkommendsten Weise zur Verfügung gestellt wurden. Ich möchte deshalb nicht versäumen, auch an dieser Stelle Herrn Geheimrat Engelmann, Herrn Professor von Frey, sowie dem Abteilungsvorsteher der speziell-physiologischen Abteilung des Berliner Instituts Herrn Professor Du Bois Reymond hierfür meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

1. Adamuek, Manometrische Bestimmungen des intraokularen Druckes. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. 1866.
2. Derselbe, Neue Versuche über den Einfluss des Sympathikus und Trigeminus auf Druck und Filtration im Auge. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien. 1869.
3. Angelucci, Gli effetti dei topici più comuni nella terapia oculare sopra sostanze diffusibili contenute normalmente o eventualmente nel sangue. Ber. d. X. internat. Ophthalm.-Kongr. zu Luzern. 1904.
4. Bellarminoff, Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung des intraokularen Druckes. Pflügers Archiv. 39. 1885.
5. Derselbe, Verbesserter Apparat zur graphischen Untersuchung des intraokularen Druckes und der Pupillenbewegung. Ber. über d. 19. Vers. d. ophth. Gesellsch. zu Heidelberg. 1887.
6. Bier, Über den Einfluss künstlich erzeugter Hyperämie des Gehirns. Mitteilg. aus d. Grenzgeb. VII. 1901.
7. Bosch, Bijdrage tot de Kennis van den duur der vochtverversching in de voorste Oogkamer by het Konije. Acad. Proefschr. Amsterdam 1904.
8. Gasparrini, Delle alterazioni succesive alla estirpazione del ganglio cervicale simpatico superiore. Annali di ottalm. 35. 1906.
9. Graser, Manometrische Untersuchungen über den intraokularen Druck und dessen Beeinflussung durch Atropin und Eserin. Inaug.-Dissertation Erlangen 1883.
10. Groenholm, Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung des Eserins auf den Flüssigkeitswechsel und die Zirkulation im Auge. v. Graefes Archiv. 49. 3. 1900.
11. Gruber, Physikalische Untersuchungen über Augendruck und Augenspannung. Arch. f. Augenheilk. 33 u. 35. 1896/97.
12. Gruenhagen, Untersuchungen, den intraokularen Druck betreffend. Zeitschr. f. ration. Medizin. 1866.
13. Gruenhagen u. v. Hippel, Über den Einfluss der Nerven auf die Grösse des intraokularen Druckes. v. Graefes Arch. 14, 3, 15, 1 u. 16. 1 1869—70.
14. Halben, Demonstration einiger Apparate zur künstlichen Hyperämisierung des Auges. Medizin. Verein zu Greifswald. Deutsche med. Wochenschrift. 1906.
15. Hamburger, Beitrag zur Manometrie des Auges. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1898.
16. Derselbe, Besteht freie Kommunikation zwischen vorderer und hinterer Augenkammer? Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1898.
17. Derselbe, Weitere Beobachtungen über den physiologischen Pupillenabschluss. Deutsche med. Wochenschr. 1899.
18. Derselbe, Über die Quellen des Kammerwassers. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1900.

19. Heine, Über den Einfluss des intraarteriellen Druckes auf Pupille und intraokularen Druck. Klin. Monatsbl. 1902.
20. Henderson and Starling, The influence of changes in the intraocular circulation on the intraocular pressure. Journal of Physiology. 31. 1904.
21. Hertel, Über die Folgen der Exstirpation des Ganglion cervicale supremum bei jungen Tieren. v. Graefes Arch. 49. 2. 1899.
22. Hesse, Die Stauungshyperämie im Dienste der Augenheilkunde. Zentralblatt f. prakt. Augenheilk. 1906.
23. Hoeltzke, Experimentelle Untersuchungen über den Druck in der Augenkammer. v. Graefes Arch. 29. 2. 1883.
24. Hoppe, Einwirkungen der Stauungshyperämie als sog. Kopfstauung (nach Bier) auf das normale Auge und den Verlauf gewisser Augenkrankheiten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1906.
25. Kahn, Über die Beeinflussung des Augendruckes durch Extrakte chromaffinen Gewebes (Adrenalin). Zentralbl. f. Physiologie. 1906.
26. Derselbe, Über Beeinflussung der Gefässweite in der Netzhaut. Zentralbl. f. Physiol. 1904.
27. Koster, Beiträge zur Tonometrie und Manometrie des Auges. v. Graefes Arch. 41. 2. 1895.
28. Derselbe, Eine Methode zur Bestimmung der Änderungen, welche in der Gestalt des Auges bei Änderung des intraokularen Druckes auftreten. v. Graefes Arch. 49. 3. 1900.
29. Derselbe, Über die Beziehung der Drucksteigerung zu der Formveränderung und der Volumenszunahme am normalen menschlichen Auge. v. Graefes Arch. 52. 1901.
30. Langendorff, Über die Beziehungen des oberen Halsganglions zum Auge und zu den Blutgefässen des Kopfes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1900.
31. Leber, Th., Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Graefe-Saemisch Handbuch d. ges. Augenheilk. 2. Aufl. 2. 1903.
32. Leber u. Pilzecker, Neue Untersuchungen über den Flüssigkeitswechsel des Auges. v. Graefes Arch. 64. 1906.
33. Leber, A., Immunitätsverhältnisse der vorderen Augenkammer. v. Graefes Archiv. 64 u. Diskussionsbemerkung im Ber. über d. 34. Vers. der ophth. Ges. zu Heidelberg. 1907.
34. Lentini, Sul passagio nell' umore acqueo di sostanze diffusibili accidentalmente contenute nel plasma del sangue, a meccanismo vascolare integro, e sperimentalmente alterato col taglio e con l'eccitazione del simpatico. Archivio di ottalm. XI. 1904.
35. Lodato, Influenza del sistema nervoso sulla constituzione dell' umore acqueo. Influenza del simpatico cervicale. Arch. di ottalm. 9. 1901.
36. Derselbe, Nuove ricerche sul simpatico cervicale in rapporto alla fisiopatologia oculare. Arch. di ottalmol. XI. 1904.
37. Mellinger, Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung subkonjunktival injizierter Kochsalzlösungen auf die Resorption aus der vorderen Augenkammer und dem Glaskörper. Arch. f. Augenheilk. 31. 1895.

38. zur Nedden, Experimentelle Untersuchungen über das Vorkommen bakterizider Substanzen im Auge nicht immunisierter Individuen. v. Graefes Arch. 65. 1907.
39. Neuschüler, Simpatico e tensione oculare. Annali di Ottalm. 28. 1890.
40. Nicati, La glande de l'humeur aqueuse. Archives d'ophth. 10 u. 11. 1890.
41. Derselbe, L'hydrostatique oculaire. Arch. d'Ophth. 20. 1901.
42. Parsons, The vasomotor nerfes of the eye. Ber. d. X. internat. Ophth.-Kongresses zu Luzern. 1904.
43. Renner, Über Biersche Stauungshyperämie bei Augenkrankheiten. Münch. med. Wochenschr. 1906.
44. Rindfleisch, Experimentelle Untersuchungen über die bei der eitrigen Chorioiditis auftretende Herabsetzung des intraokularen Druckes. v. Graefes Arch. 38. 2. 1892.
45. Römer, Immunitätsverhältnisse in der vorderen Augenkammer. Ber. über d. 34. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. 1907.
46. Schirmer, Experimentelle und klinische Untersuchungen über die Entstehung der Phthisis bulbi. Deutsche med. Wochenschr. 1907.
47. Schoeler u. Uhthoff, Das Fluoreszein in seiner Bedeutung für den Flüssigkeitswechsel des Auges. Jahresber. d. Augenklinik von Schoeler. 1881.
48. v. Schultén, Experimentelle Untersuchungen über die Zirkulationsverhältnisse des Auges usw. v. Graefes Arch. 30. 3. 1884.
49. Schulze, Über den Einfluss der Bierschen Halsstauung auf den intraokularen Druck. Zeitschr. f. Augenheilk. 1907.
50. Selenkowsky u. Rosenberg, Über den Einfluss der Exstirpation des Ganglion cervicale supr. auf das Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 49. (Referat.)
51. Senator, Über Transsudation und über den Einfluss des Blutdruckes auf die Beschaffenheit der Transsudate. Virchows Arch. 111. 1888.
52. Uribe y Troncoso, Recherches expérimentales sur la filtration de liquides salins et albumineux à travers la chambre antérieure et son rôle dans la genèse du glaucome. Annales d'ocul. 133. 1905.
53. Wegner, Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Glaukom. v. Graefes
54. Arch. 12. 1866.
Weiss, Die Lehre von der intraokularen Flüssigkeitsströmung ist nicht begründet. Pflügers Archiv. 115. 1906.

Druck der kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.